Calidad del Agua en las Américas

Riesgos y Oportunidades

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Programa Hidrológico Internacional

IANAS
INTERAMERICAN NETWORK OF ACADEMIES OF SCIENCES

iap SCIENCE RESEARCH HEALTH
the interacademy partnership

CODIA

Calidad del Agua en las Américas

Riesgos y Oportunidades

IANAS La Red Interamericana de Academias de Ciencias

IANAS es la red regional de Academias de Ciencias creada para apoyar la cooperación con el interés de fortalecer la ciencia y la tecnología como herramientas para el avance en la investigación, desarrollo, prosperidad y equidad en las Américas.

IANAS

Co-Chairs: Juan Asenjo y Jeremy McNeil
Directora Ejecutiva: Adriana de la Cruz Molina

Comité Editorial

Gabriel Roldán (Colombia), Jose Tundisi (Brazil), Blanca Jiménez (Mexico), Katherine Vammen (Nicaragua), Henry Vaux (USA), Ernesto González (Venezuela) con la colaboración de Miguel Doria de UNESCO-IHP para Latinoamérica y el Caribe.

Coordinación Editorial

Katherine Vammen, Heny Vaux y Adriana de la Cruz Molina

Comité de Revisores

Gabriel Roldán (Colombia), Katherine Vammen (Nicaragua), Henry Vaux (USA), Ernesto González (Venezuela), Ricardo Izurieta (Ecuador), José Fábrega (Panamá) y Pablo Pastén González (Chile)

Programa de Agua de IANAS

Co-Chairs: Katherine Vammen (Nicaragua), Henry Vaux (USA) y **Co-Chair Honorarios:** Jose Tundisi (Brasil) y Blanca Jiménez (México)

Corrección de estilo

Ma. Areli Montes Suárez
y autores de los capítulos

Traducción

Suzanne D. Stephens

Diseño editorial

Víctor Daniel Moreno Alanís

Apoyo administrativo

Alejandra Buenrostro

Agradecemos las revisiones de los Comités Nacionales y Puntos Focales del Programa Hidrológico Internacional, así como a los miembros de CODIA que respondieron a la solicitud de revisión de los capítulos de esta publicación.

Impreso por The Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS) Calle Cipreses s/n, Km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, 14400 Tlalpan, Ciudad de México, México y por United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France, con oficina UNESCO en Montevideo, Edificio Mercosur, Luis Pereira 1992, 20 piso, casilla de correo 859, 11200 Montevideo, Uruguay.

© IANAS 2019

ISBN: 978-607-8379-33-0
Impreso en México

Al usar los contenidos de esta publicación, los usuarios aceptan los términos y condiciones de UNESCO Open Access Repositorio (http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en). Para la versión impresa, la presente licencia aplica exclusivamente al contenido de la publicación. Para cualquier material que no esté claramente identificado como propiedad de UNESCO, se deberá solicitar previa autorización a publication.copyright@unesco.org o UNESCO Publishing, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP France.

Los contenidos y conceptos presentados en esta publicación de ninguna forma implican la expresión pública o de opinión de la UNESCO o CODIA en relación con la condición legal de algún país, territorio, ciudad o área o de sus autoridades, o relacionado con las delimitaciones fronterizas o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no representan necesariamente las ideas de IANAS, IAP, UNESCO o CODIA y no comprometen a la organización.

Esta obra ha sido impresa en papel ecológico: una parte de las fibras proviene de materiales reciclados y, otra, de bosques explotados de manera sustentable (certificación FSC). Además, el papel es libre de cloro elemental en su producción (Certificación ECF) con objeto de contribuir a la conservación de los recursos hídricos.

Calidad del Agua en las Américas

Riesgos y Oportunidades

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
Programa Hidrológico Internacional
IANAS INTERAMERICAN NETWORK OF ACADEMIES OF SCIENCES
iap SCIENCE RESEARCH HEALTH the interacademy partnership
CODIA

Academias y organizaciones científicas miembros de IANAS

Argentina
Robert Williams, Presidente
Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina
www.ancefn.org.ar

Juan Tirao, Presidente
Academia Nacional de Ciencias
www.anc-argentina.org.ar/es/

Brasil
Luiz Davidovich, Presidente
Academia Brasileira de Ciências
www.abc.org.br

Bolivia
Gonzalo Taboada López, Presidente
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia
www.aciencias.org.bo

Canadá
Chad Gaffield, Presidente
The Royal Society of Canada : The Academies of Arts, Humanities and Sciences of Canada
https://rsc-src.ca/en/

Caribe
Winston Mellowes, Presidente
Caribbean Academy of Sciences
www.caswi.org

Chile
María Cecilia Hidalgo Tapia, Presidenta
Academia Chilena de Ciencias
www.academia-ciencias.cl

Colombia
Enrique Forero, Presidente
Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
www.accefyn.org.co

Costa Rica
Pedro León Azofeita, Presidente
Academia Nacional de Ciencias Costa Rica
www.anc.cr

Cuba
Luis Velázquez Pérez, Presidente
Academia de Ciencias de Cuba
www.academiaciencias.cu

Ecuador
Washington Benítez, Presidente
Academia de Ciencias del Ecuador
www.academiadecienciasecuador.org

Estados Unidos de América
Marcia McNutt, Presidenta
The US-National Academy of Sciences
www.nasonline.org

Guatemala
María del Carmen Samayoa, Presidenta
Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala
www.interacademies.net/Academies/ByRegion/LatinAmericaCarribbean/Guatemala/

Honduras
Mario Lanza, Presidente
Academia Nacional de Ciencias de Honduras
www.guspepper.net/academia.htm

México
José Luis Morán López, Presidente
Academia Mexicana de Ciencias
www.amc.unam.mx

Nicaragua
María Luisa Acosta, Presidenta
Academia de Ciencias de Nicaragua
www.cienciasdenicaragua.org

Panamá
Martín Candanedo, Presidente
Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia
www.apanac.org.edu.pa

Perú
Gustavo González, Presidente
Academia Nacional de Ciencias del Perú
www.ancperu.org

República Dominicana
Luis Scheker Ortiz, Presidente
Academia de Ciencias de la República Dominicana
www.academiadecienciasrd.org

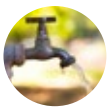
Uruguay
Rafael Radi, Presidente
Academia Nacional de Ciencias de la República Oriental del Uruguay
www.anciu.org.uy

Venezuela
Gioconda San-Blas, Presidenta
Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela
www.acfiman.org.ve

Contenido

Prólogo 10

Una visión general de la calidad del agua en las Américas 12
Katherine Vammen y Henry Vaux



Aspectos importantes relacionados con la Calidad de Agua

Agua y sociedad. La multidimensionalidad de la calidad del agua 22
María Luisa Torregrosa, Daniela de las Mercedes Arellano Acosta y Karina Kloster

Agua y Salud 29
Martín Forde, Ricardo Izurieta, Banu Ôrmeci, Mercedes Arellano y Kerry Mitchell

Monitoreo biológico de la calidad del agua en las Américas 39
Ernesto González y Gabriel Roldán

Empleo de nuevas metodologías en el monitoreo y zonificación de los cuerpos de agua en Argentina 54
César Luis García, Carlos Catalini y Carlos Marcelo Garcíae

Sobre el tema de calidad de agua en las Américas: Argentina 58
Coordinador: Raúl A. Lopardo. Autores: Luis E. Higa, Emilio J Lentini, José María Regueira, Melina Tobías y Raúl A. Lopardo

Calidad del agua potable en Bolivia 79
Coordinador: Fernando Urquidi. Autores: Carlos D. España Vásquez y Fernando Urquidi

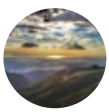
La calidad del agua en Brasil 107
Coordinadores: José Tundisi y Carlos Bicudo. Autores: Adalberto Luís Val, Carlos E. de M. Bicudo, Denise de C. Bicudo, Diego Guimarães Florencio Fernando Rosado Spilki, Ina de Souza Nogueira, Ivanildo Hespanhol, José Almir Cirilo, José Galizia Tundisi, Pedro Val, Ricardo Hirata, Sandra Maria Feliciano de Oliveira e Azevedo, Silvio Crestana y Virginia S.T. Ciminelli.

Desafíos pasados, presentes y futuros para la gestión de la calidad del agua dulce en Canadá 134
D. W. Schindler

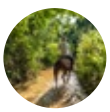
Artículo Especial **156**
Calidad del agua y vínculos de la energía alternativa en las Américas
Kwame Emmanuel y Anthony Clayton. Con la contribución especial de Julián Despradel, Judith Franco, José María Rincón-Martínez, Diana Marcela Durán-Hernández, Melio Sáenz y Felipe Cisneros, Claudio Wheelock, Julio López de la Fuente, Erick Sandoval, Juan Rodríguez, Roberto Castello Tió y Mireya R. Goldwasser

Calidad del Agua en Chile: Avances, desafíos y perspectivas **169**
Coordinador: Pablo Pastén. Autores: Pablo Pastén, Alejandra Vega, Paula Guerra, Jaime Pizarro y Katherine Lizama

La calidad del agua en Colombia **201**
Coordinador: Gabriel Roldán-Pérez. Autores: Gabriel Roldán-Pérez, Claudia Patricia Campuzano Ochoa, Diego Alejandro Chalarca, Francisco José Molina Pérez, Diana Catalina Rodríguez Loaiza, Carlos Augusto Benjumea-Hoyos, Silvia Lucía Villabona-González y María Isabel Ríos-Pulgarín.



Calidad de aguas en Costa Rica **238**
Coordinador: Hugo G. Hidalgo. Autores: Hugo G. Hidalgo, Monika Springer, Yamileth Astorga, Eddy Gómez, Ingrid Vargas y Édgar Meléndez



Calidad del agua en Cuba **265**
Coordinador: Joaquín B. Gutiérrez Díaz. Autores: Joaquín B. Gutiérrez Díaz y Jorge Mario García Fernández

Calidad del agua en Ecuador **283**
Coordinador: Ricardo Izurieta. Autores: Ricardo Izurieta, Arturo Campaña, Juan Calles, Edmundo Estévez y Tatiana Ochoa

Calidad del Agua en las Américas: El Salvador **307**
Julio César Quiñónez Basagoitia

Calidad del agua y su gestión en los Estados Unidos de América **338**
Henry Vaux, Jr.

Calidad del agua en las Américas Caribe – Grenada 360
Coordinador: Martin S. Forde. Autores: Kerry Mitchell, Martin S. Forde y Allan Neptune

Calidad del agua en Guatemala 374
Coordinador: Manuel Basterrechea. Autores: Manuel Basterrechea, Margaret Dix, Sharon van Tuylen, Ángela Méndez, Ligia Díaz, Pablo Mayorga y Norma Gil

Calidad del agua en Honduras 393
Coordinador: Marco Antonio Blair. Autores: Marco Antonio Blair, Pedro Ortiz, Mirna Argueta y Luis Romero

Calidad del agua en México 417
Coordinadores: Arsenio González Reynoso, Blanca Jiménez Cisneros, Jorge Eugenio Barrios Reynoso y Maria Luisa Torregrosa y Armentia. Autores: Adriana Carolina Flores-Díaz, Alma Chávez Mejía, Anne M. Hansen, Arsenio González Reynoso, Beatriz Casasola, Blanca Jiménez Cisneros, Blanca Lucía Prado Pano, Brenda Rodríguez Herrera, Daniel Murillo Licea, Erick D. Gutiérrez López, Fabiola Garduño, Gabriela Cabestany Ruiz, Ignacio González Mora, Itzkuauhtli Zamora Sáenz, Jorge Eugenio Barrios Reynoso, José Antonio Barrios Pérez, José Joel Carrillo Rivera, Juan Carlos Durán Álvarez, Juana Amalia Salgado López, Leopoldo G. Mendoza Espinosa, Lorenzo Gómez Morín, María Aurora Armienta Hernández, María del Pilar Saldaña Fabela, Mariana Zareth Nava-López, Marisa Mazari-Hiriart, María Luisa Torregrosa y Armentia, María Teresa Orta Ledezma Velásquez, Marinhe Concepción Rosas Rodríguez, Miguel Palmas Tenorios, Miguel A. Córdova Rodríguez, Miriam G. Ramos-Escobedo, Porfirio Hernández H, Ramón Pérez Gil Salcido, Ricardo Sandoval Minero, Robert Hunter Manson, Ronal Sawyer G., Sergio S. Ruiz-Córdova y Sofía Esperanza Garrido Hoyos

Artículo Especial
Género, la mujer y la calidad del agua 443
Organizado y editado por Frances Henry. Autores: Milena Cabrera Maldonado, Neela Badrie, Mónica Moraes R., María Eugenia García, Christina Villamar, Banu Örmeci y Dayra Álvarez

Los retos para proteger la calidad del agua en Nicaragua 466
Coordinador: Katherine Vammen. Autores: Katherine Vammen, Elizabeth Peña, Indiana García, Erick Sandoval, Mario Jiménez, Ivania Andrea Cornejo, Thelma Salvatierra, María José Zamorio, Claudio Wheelock, Analy Baltodano y Romer Altamirano

Calidad del agua en Panamá 501
Coordinador: José R. Fábrega. Autores: José Fábrega, Elsa Flores, Manuel Zárate, Miroslava Morán, Denise Delvalle, Argentina Ying, Marilyn Diéguez, Euclides Deago y Kathia Broce

Perú: el doble reto de la calidad del agua y seguridad hídrica 532
Coordinador: Nicole Bernex. Autores: Nicole Bernex, James Apaéstegui, Betty Chung, María Luisa Castro de Esparza, José Bauer, Raúl Espinoza, César Vidal, Pablo Tsukayama, Martín Cabello-Vílchez y Katiusca Yakabi

Calidad del Agua en la República Dominicana 559
Coordinador: Eleuterio Martínez. Autores: Eleuterio Martínez, Roberto Castillo Tió, Luis Reyes Tatis, Pedro de León y Luis Salcedo

Calidad del agua en Uruguay: Actualidad y desafíos 592
Coordinadores: Jimena Alonso, Federico Quintans, Javier Taks y Daniel Conde. Autores: Jimena Alonso, Federico Quintans, Javier Taks, Daniel Conde, Guillermo Chalar, Sylvia Bonilla, Rafael Arocena, Signe Haakonsson, Luis Aubriot, Guillermo Goyenola, Pablo Muniz, Analía Marrero, Marisa Hutton, Natalia Venturini, Ana Laura Pita, Karen Iglesias, Mariana Ríos, Natalia Zaldúa, Franco Teixeira de Mello, Alvaro Soutullo, Gabriela Eguren, Matías Victoria, Fernando López Tort, Leticia Maya, Matías Castells, María José Benitez, Andrés Lizasoain, Estefany Bertoni, Viviana Bortagaray, Matías Salvo, Rodney Colina, Karina Azuriz, Natalia Castagnet, Victoria Evia, Ana Fernández, Ximena Lagos, Laura Marrero, Fernanda Milans, Matías Piaggio, Nicolás Rezzano, Julieta López, Lorena Rodríguez, Saúl Garat, Margarita Pintos, Alejandro Iriburo, Beatriz Brena, Hernán Méndez

Calidad de las Aguas en Venezuela 632
Coordinador: Ernesto J. González. Autores: Ernesto José González Rivas, Eduardo Buroz Castillo, Rafael Lairet Centeno, María Virginia Najul, Henry Blanco, Rebeca Sánchez, Jorge Paolini, Ramón Montero, Haymara Álvarez, Simón Astiz, Carlos Espinosa Jiménez, Vecellio Focà, Miguel Ángel Cabeza Díaz, Silvana Vielma Angarita, Lucas Riestra, Antonio Machado-Allison y Pedro R. García Montero

Prólogo

Este trabajo es el resultado de un esfuerzo de cooperación entre el Comité del Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) y el Programa Internacional de Hidrología de la UNESCO. Es el último de tres publicaciones que se originaron de esta colaboración continua. Las iniciativas anteriores incluyeron una descripción general de los recursos hídricos de Las Américas que llevó por título *Diagnóstico del agua en Las Américas*, y que se publicó en 2013, así como un estudio de las aguas urbanas titulado *Agua urbana: Desafíos en Las Américas*, que se publicó en 2015. Todos estos trabajos se han publicado en inglés y español a fin de que sean de fácil acceso para los encargados de la gestión del agua, los investigadores, y el público en Las Américas y en todo el mundo. Existen buenas razones para suponer que esta cooperación continúe y saque partido de los éxitos pasados para su futuro. Los editores de este trabajo agradecen el apoyo de sus colegas de la UNESCO para lograr que esta obra y sus antecesoras llegaran a buen término, y desean el éxito ininterrumpido de esta cooperación.

Este trabajo, que se centra en los problemas y en la gestión de la **calidad del agua**, ha contado con la colaboración estrecha de la Oficina Regional de Ciencias para América Latina y el Caribe de la UNESCO en Montevideo, concretamente con el Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC) y el hidrólogo regional del PHI para LAC, el Dr. Miguel de Franco Doria. Cabe mencionar que se llevaron a cabo una serie de reuniones a efectos de apoyar la preparación, organización y publicación de este trabajo: el Programa del Agua de IANAS y la UNESCO en Irvine, California (EE.UU., septiembre de 2015, Taller sobre la calidad del agua en Las Américas); la Feria Internacional del Agua en noviembre de 2016 en Medellín, Colombia, organizada por el Centro de Ciencias y Tecnología de Antioquia (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia) y la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; la Reunión del Programa del Agua en Ottawa, organizada por la Real Sociedad de Canadá, las Academias de Artes, Humanidades y Ciencias de Canadá y la Universidad de Carlton (agosto de 2017); Compartir el agua: Enfoque en la calidad del agua desde el ámbito local al mundial en Las Américas (Ipatinga, Brasil, febrero de 2018) organizado por la UNESCO-PHI; el Foro Mundial del Agua, Brasilia, la presentación de los Desafíos del agua urbana en Las Américas (marzo de 2018) con el apoyo de la Academia Brasileña de Ciencias y el Taller de Capacitación Regional de América Latina y el Caribe de la UNESCO sobre contaminantes emergentes en los recursos hídricos, organizado por la Iniciativa Internacional sobre la Calidad del Agua (IIWQ, por sus siglas en inglés) del PHI de la UNESCO en Campinas, Brasil, en diciembre de 2018.

Agradecemos el apoyo de la Conferencia de Directores del Agua (CODIA), que promueve activamente la difusión de conocimientos técnicos, científicos, sociales y ambientales en recursos hídricos, por su apoyo a este trabajo, especialmente en lo que respecta a la producción de diversos materiales de promoción vinculados a esta obra.

IANAS proporciona acceso público gratuito a estas publicaciones en:
https://www.ianas.org/index.php/books/ianas-publications

Una visión general de la calidad del agua en las Américas

Co-Chairs del Programa de Agua de IANAS
Katherine Vammen (Nicaragua) y Henry Vaux (EUA)

Los recursos hídricos son un componente clave para apoyar y fortalecer el desarrollo sostenible en el hemisferio americano y en el mundo. *Calidad del agua en las Américas: Riesgos y Oportunidades* reúne un esfuerzo conjunto de las Academias de Ciencias de 21 países de las Américas. Un equipo de 148 autores de esos países, expertos en diferentes aspectos de las ciencias del agua, realizó esta evaluación, desde la perspectiva de las academias de ciencias, con el objetivo de analizar problemas específicos de la calidad del agua y ofrecer sugerencias para una mejor gestión. El libro presenta una evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas y de los impactos sobre el consumo humano, la agricultura y los servicios de los ecosistemas en cada país, reuniendo así una visión general del estado actual y de los desafíos futuros para la calidad de los recursos hídricos esenciales en todo el hemisferio. Esta evaluación facilitará la creación de nuevos conceptos de gestión y la introducción de mejores prácticas en nuestro hemisferio tan diverso.

La obra considera las áreas de abundancia y escasez de recursos hídricos, desde las condiciones templadas hasta las tropicales, y sitúa el desarrollo de los recursos hídricos en el contexto de la gran diversidad del desarrollo económico y social en las Américas. Aborda los diferentes impactos de la actividad industrial y humana en las zonas urbanas y rurales, los problemas relacionados con el agua potable y el tratamiento de las aguas residuales y, en particular, las capacidades institucionales y profesionales para mejorar la gobernabilidad de los recursos hídricos.

En un principio, los conceptos de manejo se centraban más en el balance hídrico de las diferentes cuencas, pero hoy día la disponibilidad está claramente influenciada por los impactos antropogénicos que afectan la calidad del agua y, a su vez, la disponibilidad del recurso para diferentes usos, lo que conduce a problemas de seguridad hídrica para la población humana y para los ecosistemas. La restauración de la calidad del agua involucra muchos aspectos, desde la protección de las cuencas hidrográficas a todos los niveles hasta la mejora de las leyes ambientales y su implementación; todo ello con el fin de reducir los riesgos y la vulnerabilidad para garantizar la seguridad del agua. La ciencia desempeña un papel fundamental en la elaboración de recomendaciones basadas en datos empíricos para garantizar la calidad del agua, lo que conduce a la adopción de mejores políticas y a su aplicación oportuna. Es imprescindible mejorar la gestión de los recursos hídricos en toda América y mejorar y adaptar mejor la gobernanza a las condiciones específicas de los recursos de cada país a medida que abordan sus problemas particulares de calidad del agua.

A nivel mundial, el deterioro de la calidad del agua ha pasado por un proceso de cambio paralelo a las modificaciones de las actividades humanas, el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización y los cambios progresivos en el uso de la tierra. Los contaminantes son cada vez más complejos y pueden estar directamente relacionados con

la salud humana y con impactos importantes en los ecosistemas. Esto se traduce en un aumento de los costos de tratamiento para la purificación del agua y las aguas residuales, y afecta a los servicios de los ecosistemas. El deterioro de la calidad del agua comenzó con la contaminación fecal y orgánica en tiempos en los que el tratamiento del agua estaba muy poco avanzado en el siglo XIX y fue seguido por un aumento de la contaminación por metales con características especiales de bioacumulación en los ecosistemas acuáticos hasta el siglo XX. A partir de la década de 1960, con el aumento de la aportación de nutrientes a los cuerpos de agua receptores, se observaron procesos de eutrofización en todo el continente, que finalmente alcanzaron niveles que provocaron la proliferación de cianobacterias, lo que dio lugar a la liberación de cianotoxinas en el agua de lagos y embalses. Desde los Grandes Lagos de América del Norte hasta los embalses y lagos de América del Sur, la preocupación del público iba en aumento y la rápida proliferación de los brotes de algas era cada vez más objeto de estudios (Tundisi, 2015; Schindler, 1977). "Estos estudios se vieron favorecidos por el rápido desarrollo de los métodos y equipos químicos" (ver capítulo Canadá) y estos avances fueron rápidamente adoptados por equipos de investigación que buscaban identificar y resolver la contaminación del agua.

Después de algunas décadas de estudios, se hizo cada vez más evidente que tanto las fuentes puntuales como las no puntuales son causas importantes de contaminación: (1) las fuentes puntuales (por ejemplo, fábricas, vertidos de aguas residuales municipales) sin un tratamiento adecuado de los residuos estaban causando eutrofización; y (2) las fuentes no puntuales y la escorrentía de la agricultura eran las fuentes de entrada de fósforo, nitrógeno y otros agroquímicos en los principales cuerpos de agua. Los productos químicos orgánicos se usaron ampliamente en la agricultura. Los contaminantes orgánicos persistentes (COP), los herbicidas e insecticidas y el aumento del uso incontrolado de fertilizantes se convirtieron en una fuente importante de contaminación de los recursos hídricos y de las aguas superficiales y subterráneas. Los cambios en el uso de la tierra que promovieron la deforestación para la expansión de la producción agrícola y ganadera también crearon una sedimentación generalizada en las aguas superficiales: lagos, embalses, ríos y lagunas costeras. Todos estos procesos afectaron al agua para consumo humano y condujeron a una "reducción de la calidad de los ecosistemas que sustentan los recursos hídricos y mantienen su calidad" (Tundisi, 2015). Además, la integridad de las zonas clave de protección de los cuerpos de agua – las zonas ribereñas, los humedales y otros, así como las zonas extremadamente delicadas de recarga de aguas subterráneas y las fuentes prístinas de los sistemas hidrológicos– se vio afectada.

El continente americano tiene muchas áreas especiales de importancia global para el clima y una gran importancia hidrológica. Uno de sus elementos, el río Amazonas, destaca por su longitud de 6,992 km y descarga cerca de 20% de toda el agua dulce que llega a todos los ambientes marinos del mundo y abarca una superficie de 7 millones de km^2. La adaptación de la biota acuática debido a la diversidad de los tipos de agua, junto con la variación estacional, ha producido una combinación única de biodiversidad a lo largo del proceso evolutivo. Los impactos humanos sobre la calidad del agua de la cuenca amazónica están amenazando la calidad del agua y la biodiversidad a causa, principalmente, de la minería, el cambio climático, el impacto urbano y el cambio del uso del suelo en la cuenca. (véase el capítulo Brasil para mayores detalles).

Existen nuevos riesgos emergentes para la calidad del agua que requieren especial atención y que son objeto de evaluación en algunos capítulos. Los contaminantes emergentes están presentes en las fuentes de aguas superficiales y subterráneas y se originan a partir de medicamentos, cosméticos, antibióticos, hormonas, nanomateriales y otros insumos que representan nuevas amenazas para la salud humana, la biodiversidad y los ecosistemas. Es necesario realizar análisis más detallados en un futuro próximo. Algunos métodos de extracción minera industrial iniciados en las últimas décadas, como la extracción de arenas bituminosas y la fracturación en áreas vulnerables, están provocando nuevos riesgos para los recursos hídricos que podrían tener consecuencias para la calidad del agua y, por lo tanto, para la salud humana.

El cambio climático mundial también tiene múltiples efectos en la calidad del agua. Los eventos extremos significan que las fuentes de agua que antes

eran perennes ahora sufren de períodos de sequía con consecuencias para la biota acuática y los suministros públicos de agua. La cantidad insuficiente de agua en algunas áreas ha llevado al uso de la misma fuente de agua tanto para la extracción de agua para consumo humano y riego, como para la eliminación de residuos (véase el capítulo Canadá). Por otra parte, las inundaciones provocan grandes cantidades de sedimentación y los fenómenos extremos como los huracanes tienden a destruir los sistemas hidrológicos debido a la deforestación masiva y a los cambios extremos (sedimentación y entarquinamiento) en las cuencas fluviales y lacustres que afectan drásticamente al régimen de flujo. Los metales y nutrientes que están débilmente ligados en los sedimentos pueden ser liberados al agua en estos eventos. El aumento de la temperatura de las aguas superficiales ya ha provocado una intensificación de las floraciones algales de cianobacterias, porque estas especies se adaptan rápidamente a las mayores temperaturas del agua y dominan la biodiversidad del fitoplancton en los ecosistemas acuáticos. El calentamiento climático también influye en la contaminación por metales –por ejemplo, el mercurio puede ser liberado aguas abajo después de incendios forestales– y en la desaparición de los ambientes de permafrost, como en Canadá.

Este volumen de Calidad del Agua en las Américas, pues, tiene el objetivo de contribuir a una mayor comprensión de las amenazas e impactos actuales sobre los recursos hídricos. Los análisis aquí presentados se resumen en las siguientes secciones.

Problemas de calidad del agua en las Américas

Eutrofización

Prácticamente todos los países de las Américas experimentan algún grado de eutrofización artificial en sus cursos y cuerpos de agua. Con frecuencia, la eutrofización se caracteriza como cultural, lo que significa que el fenómeno se establece artificialmente por un exceso de nutrientes en las aguas que son vertidos por las actividades agropecuarias e industriales en lugar de proceder exclusivamente de fuentes naturales. Los resultados son variados e incluyen floraciones algales que a veces son tóxicas y agotan el oxígeno disuelto. La eutrofización cultural puede hacer que el agua no sea apta para el consumo y otros fines y llegar a desestabilizar el ecosistema acuático. Esto último suele dar lugar a la proliferación de algas, con la consiguiente liberación de toxinas y el crecimiento explosivo de especies no deseadas.

Contaminación por fuentes no puntuales. La eutrofización es causada a menudo, aunque no siempre, por la contaminación por fuentes no puntuales, que por sí misma crea problemas complejos de calidad del agua en prácticamente todos los países de las Américas. La contaminación por fuentes no puntuales implica contaminantes que son difíciles de regular directamente, porque es imposible identificar sus puntos de origen. Por el contrario, la contaminación puntual emana de una ubicación identificable, lo que facilita en cierta medida el cumplimiento de las normas reglamentarias. La contaminación por fuentes no puntuales incluye la escorrentía de las tierras de las cuencas hidrográficas que han sido erosionadas, modificadas o despojadas de algún otro modo; la escorrentía de las tierras agrícolas que contienen los residuos de productos químicos agrícolas, incluidos los fertilizantes y los plaguicidas; la escorrentía de las aguas pluviales de los paisajes urbanos que contiene todo tipo de productos químicos, incluidos hidrocarburos y sedimentos.

Productos químicos agrícolas. Los productos químicos agrícolas (principalmente fertilizantes y pesticidas) son difíciles de controlar debido a que los propios productos químicos pueden ser perjudiciales para el medio ambiente o la salud humana y con frecuencia no se evalúan antes de su liberación comercial. Además, las decisiones relativas a la cantidad de un producto químico a aplicar generalmente son descentralizadas y hay una tendencia a aplicar más de lo necesario, con el resultado de que puede ser incluso mayor que si la cantidad aplicada fuera la óptima. La escorrentía procedente de las tierras agrícolas ha sido implicada como causa de "zonas muertas" encontradas en aguas donde la eutrofización cultural es especialmente severa.

Brotes de cianobacterias y toxinas. Una manifestación particularmente insidiosa de la eutrofización involucra a las cianobacterias, que son bacterias fo-

tosintetizadoras, las cuales se encuentran naturalmente en los hábitats terrestres y acuáticos de todo el mundo. Bajo condiciones que incluyen niveles extremos de eutrofización y presentando cepas específicas de cianobacterias, las floraciones de algas asociados liberan toxinas que son peligrosas para los animales, algunas formas de vida vegetal y los seres humanos. El potencial para tales brotes existe a lo largo de las Américas y es un caso extremo de la clase de contaminación a la que puede conducir la eutrofización cultural severa.

Contaminación química

El número de productos químicos con potencial para contaminar los cursos de agua y los cuerpos de agua es casi ilimitado. La contaminación del agua con productos químicos es omnipresente y se encuentra en todo el continente americano en diferentes grados de severidad.

Contaminantes emergentes. Cada día surgen nuevos productos químicos en los sectores agrícola, industrial y tecnológico. Aunque estos productos buscan dar soluciones a varios problemas, muchos de estos contaminantes aparecen poco después en los cursos y en los cuerpos de agua, así como en la tierra. Este acontecimiento ocurre antes de que se conozca mucho acerca de sus impactos sobre la salud y el ambiente. Ningún país de las Américas tiene actualmente la capacidad de evaluar los contaminantes emergentes antes o después de su liberación al ambiente. Las implicaciones finales de esta situación son totalmente desconocidas, pero está claro que las perspectivas de que se produzcan impactos peligrosos e incluso mortales en la salud transmitidos por el agua aumentan cada día.

Sustancias químicas tóxicas. La falta de capacidad para evaluar nuevos contaminantes emergentes significa que la incapacidad de discriminar entre sustancias químicas tóxicas y no tóxicas aumenta la amenaza para la salud y el bienestar humano. Existe una especial preocupación por el hecho de que las sustancias químicas emergentes o sus metabolitos puedan reaccionar con sustancias químicas que ya se encuentran en el ambiente para producir toxinas, las cuales, incluso, son más peligrosas que la sustancia química original. Además, la falta de evaluación de los impactos de la descarga de productos químicos tóxicos en el agua significa que los impactos potenciales a largo plazo son mal comprendidos o no son comprendidos en absoluto. En la mayoría de los países de las Américas no se dispone de los recursos necesarios para evaluar las consecuencias a largo plazo de las sustancias químicas que pueden no ser tóxicas de inmediato.

Lluvia ácida. Está bien establecido que las emisiones de los combustibles fósiles liberadas a la atmósfera pueden causar aumentos, quizás significativos, en la acidez de la precipitación. Esto tiene efectos adversos en los hábitats acuáticos y puede dar lugar a su desestabilización biológica. La lluvia ácida también puede causar daños significativos en las áreas urbanas a través de la destrucción de pinturas protectoras y otros revestimientos. Significativamente, los impactos del aumento de la lluvia ácida se sienten a menudo en lugares alejados de los lugares donde se producen las emisiones causadas. Esto significa que la parte que emite los contaminantes frecuentemente no tiene incentivo para mejorar las descargas infractoras. Este problema es más pronunciado en las regiones de las Américas que dependen exclusivamente de la quema de combustibles fósiles para la producción de electricidad y otros productos básicos, con altos contenidos de sulfuro y óxidos de nitrógeno.

Salinización. Todas las aguas naturales contienen algunas sales. Cuando el agua se evapora, o transpira en el caso de la agricultura, las sales permanecen. En la agricultura de regadío, cierta salinización es evitable y, a menos que sea atendida, reducirá en última instancia la productividad de los suelos en cuestión y terminará con una pérdida total de la productividad del suelo. El remedio es lixiviar periódicamente las sales de la zona radicular. Esto requiere agua adicional a la necesaria para mantener el cultivo. En las regiones áridas de las Américas, la salinización de las tierras agrícolas es una amenaza. El agua necesaria para contrarrestar la salinización por lixiviación puede no estar disponible en regiones áridas y semiáridas. La intrusión de agua de mar, que ocurre cuando los acuíferos costeros y cercanos a las costas están sobreexplotados, es otra forma de degradación de la calidad del agua. El tema se tratará más adelante en la sección sobre aguas subterráneas.

Minería y otros desechos industriales. La minería y otros desechos industriales constituyen un riesgo elevado para la calidad del agua debido a la concentración de compuestos metálicos y de otro tipo que pueden ser movilizados por la precipitación y el transporte de agua a través del suelo. Estos desechos pueden ser particularmente difíciles de manejar porque las fuentes son a veces difusas, como ocurre con el drenaje ácido de minas, y a menudo es difícil identificar su propiedad. En los países con economías desarrolladas, estos residuos suelen limpiarse a un costo muy elevado. Los países con economías menos robustas rara vez podrán sufragar los costos de la limpieza. Hay muchos ejemplos, ilustrados en varios capítulos dedicados a los países, que muestran la minería artesanal de oro muy extendida, como es el caso de Perú, Bolivia, Brasil, Ecuador y en la mayoría de los países centroamericanos.

Contaminación natural. La contaminación natural también supone una amenaza para la calidad del agua. Entre los contaminantes más prominentes están los fluoruros, el boro y el arsénico. Éstos se encuentran generalmente en suelos y rocas y se movilizan a causa de las lluvias y otros fenómenos meteorológicos. Los fluoruros son omnipresentes en el suelo y en el agua y son relativamente inofensivos a bajas concentraciones. Sin embargo, pueden ser tóxicos en concentraciones más altas incluso en la naturaleza. El boro suele estar presente en el suelo y en el agua, y en concentraciones más altas puede ser tóxico para las plantas, incluidas las de cultivo. El arsénico es tóxico para los seres humanos y la carga corporal de arsénico es acumulativa, por lo que incluso la ingestión de agua con bajas concentraciones de arsénico a lo largo del tiempo puede tener impactos tóxicos significativos. Las contaminaciones naturales de todo tipo son difíciles de manejar porque provienen típicamente de fuentes difusas y de formaciones geológicas específicas, como los orígenes volcánicos.

Contaminantes biológicos y otros contaminantes no químicos

Los microbios y otros contaminantes biológicos son bien conocidos, pero hay otros contaminantes que pueden o no tener propiedades biológicas que amenazan la calidad del agua.

Especies invasoras. El advenimiento de la tecnología de transporte dio lugar a un mundo cada vez más estrechamente vinculado. En tales circunstancias, era casi inevitable que los organismos pudieran pasar de los hábitats acostumbrados en los que habían evolucionado a hábitats más distantes que pudieran colonizar. Los hábitats más distantes carecían de los depredadores y/o de las condiciones ambientales que tendían a mantener estables las poblaciones en el hábitat original. El resultado fue con frecuencia una explosión demográfica en el nuevo hábitat que continuó hasta que ya no pudo ser sostenida y las cifras de población estallaron. Los paisajes modificados y los ambientes acuáticos también propician la invasión de otras especies por una variedad de razones. Las especies invasoras pueden causar un daño significativo a la integridad ambiental de un hábitat acuático, lo que afecta a los niveles tróficos del ecosistema y en algunos casos puede llevar a la extinción de especies importantes. Ya se han dedicado importantes recursos a la gestión de las especies invasoras para contrarrestar el daño sustancial que pueden causar. El advenimiento del calentamiento global y otros cambios ambientales sugiere que las especies invasoras aparecerán en todo el continente americano (y en el resto del mundo) con una frecuencia cada vez mayor y los consiguientes aumentos en el costo de su control. Esta invasión afectará a los hábitats acuáticos.

Sedimentación. La sedimentación es un proceso natural de desgaste del paisaje y desplazamiento del material. Sin embargo, la mala gestión de las tierras de las cuencas hidrográficas y de los cursos de agua puede dar lugar a una movilización excesiva de sedimentos y a tasas aceleradas de transporte de sedimentos. Las cantidades excesivas de sedimentos pueden destruir los hábitats acuáticos, acortar la vida de las presas al llenar prematuramente el espacio del embalse que de otro modo estaría disponible para almacenar agua y hacer que el agua no sea apta para algunos usos. La conversión indiscriminada de tierras, como en el caso del desarrollo inapropiado de tierras agrícolas, la tala y la modificación de la superficie de la tierra de manera que aumente la escorrentía del flujo de agua, puede conducir a una sedimentación excesiva. Actividades que aumentan la taza de sedimentación se encuentran en todos los países de las Américas con el re-

sultado de que la movilización y el transporte aumentarán y provocarán degradación de la calidad de las aguas superficiales.

Contaminación microbiana. A pesar de los importantes avances en el suministro de agua potable, la contaminación microbiana sigue amenazando la calidad de muchos de estos suministros. La modificación y mal manejo de las tierras de las cuencas hidrográficas amenaza la integridad cualitativa del agua de esas tierras. La ausencia de instalaciones de tratamiento bien operadas que funcionen adecuadamente y la falta de mantenimiento y renovación de las instalaciones existentes aumenta las posibilidades de contaminación microbiana. Ningún país de las Américas está libre de preocupaciones sobre la eliminación de la contaminación microbiana de los suministros de agua potable, aunque la situación es peor en algunos países que en otros. Tanto la contaminación bacteriana como la viral deben ser consideradas en los programas de monitoreo.

Saneamiento adecuado. Muchos países de las Américas han logrado avances impresionantes en la prestación de servicios de saneamiento en las últimas décadas. Esto ha implicado la construcción de instalaciones de tratamiento de aguas residuales y el desarrollo de equipos capacitados de trabajadores que pueden operarlas. Sin embargo, muchos países de las Américas están rezagados en la cobertura de saneamiento en áreas urbanas, y aun cuando lo hay, falta un tratamiento adecuado antes de que los efluentes ingresen a los cuerpos receptores y por lo tanto causen mayor contaminación a los cuerpos de agua importantes. El saneamiento rural sigue siendo un problema, incluso en países donde la cobertura total es razonablemente alta. El mantenimiento y la renovación de las instalaciones de saneamiento pueden convertirse en un problema significativo con el tiempo debido al alto costo y a la apatía popular.

Agua subterránea

La importancia del agua subterránea como fuente potencial de suministro, y su gestión para proteger tanto las cantidades disponibles como la buena calidad, se ha descuidado en gran medida en todo el continente americano. No se aprecia ampliamente que casi siempre es más barato proteger la calidad del agua subterránea que limpiarla después de haberla contaminado. La protección de la calidad del agua subterránea se ve dificultada por el hecho de que la mayoría de los contaminantes provienen de fuentes difusas y que la contaminación se traslada por el subsuelo a diferentes velocidades que son difíciles y costosas de monitorear. En general, la calidad del agua subterránea debe ser manejada indirectamente especificando un conjunto de mejores prácticas de manejo para gobernar las actividades que se llevan a cabo en las áreas de recarga. Un conjunto de prácticas bien diseñadas minimizará o eliminará la posibilidad de que los contaminantes lleguen al acuífero en cuestión. Los programas de protección del brocal del pozo son especialmente importantes en la medida en que los contaminantes pueden alcanzar el agua subterránea casi instantáneamente si fluyen por los pozos.

Un problema especial ocurre cuando los acuíferos costeros están sobreexplotados (se extrae más de lo que se recarga) y, en consecuencia, el nivel de la capa freática baja. Cuando ese nivel cae por debajo del nivel del mar, el agua de mar puede penetrar en el acuífero. Si no se toman medidas correctivas, se produce una salinización progresiva del acuífero. El remedio obvio es detener la extracción excesiva y permitir que el nivel freático se recupere. Se han empleado con éxito otros métodos de manipulación hidrológica que requieren suministros de agua adicionales. La desalinización artificial es otro remedio potencial, pero es muy costoso.

Gestión de la calidad del agua en las Américas

Ningún país de las Américas tiene un éxito total en la gestión de la calidad del agua. Esto es verdad tanto para los países desarrollados como para los que están en vías de desarrollo. Los componentes de un programa de manejo exitoso son bien conocidos y se resumen a continuación.

Reciclaje y reutilización

El Principio de Balance de Materiales, derivado de la Ley de Conservación de Masa, sostiene que la masa de material descargado como residuo al medio ambiente es aproximadamente igual a la masa de material que entra en los procesos de produc-

ción. Esto significa que sólo hay dos maneras de reducir el volumen de contaminantes:1) reducir el flujo de entrada, o 2) reciclar y reutilizar los materiales que se descargan en el medio ambiente. El reciclaje se practica en un grado u otro en todo el hemisferio, pero es necesario aumentar la magnitud de los programas de reciclaje. Del mismo modo, es importante señalar que los sumideros de residuos (agua, aire y tierra) están interconectados, de modo que una aumento de la calidad en un sumidero implica un aumento de la calidad en los demás. Los programas que son específicos para los sumideros, como algunos de los que existen en los EUA, simplemente desplazan los desechos e ignoran el hecho de que lo que sucede en un sumidero afecta a los demás. El reconocimiento de que los sumideros están interrelacionados está ausente en gran medida en las políticas de gestión de la calidad del agua en toda América.

Monitoreo

Ningún programa de gestión de la contaminación puede llevarse a cabo con éxito si no se dispone de información sobre el estado y la calidad del medio acuático. Se necesita un mínimo de datos sobre los flujos y la calidad del agua. A pesar de ello, el nivel de monitoreo en prácticamente todos los países de las Américas es inadecuado. Cuando los datos son inadecuados, el problema de la gestión se convierte en un problema de gestión del riesgo y la incertidumbre. La gestión de riesgos también requiere cierto grado de vigilancia y de investigación para determinar el riesgo asociado a los diferentes contaminantes. El monitoreo y la generación de datos deben ser llevados a cabo normalmente por el gobierno central debido a la interdependencia de las aguas que fluyen entre los estados, provincias o regiones de los países. La dificultad es que los programas de recolección y análisis de datos carecen de atractivo político y, por lo tanto, suelen ser inadecuados para la tarea en cuestión.

Programas de investigación

Los programas de manejo deben basarse en la ciencia de la calidad del agua para ser efectivos. A medida que avanza el crecimiento económico y demográfico, el problema de la gestión de la calidad del agua se hace más amplio y complicado. Esto requiere más investigación científica para comprender tanto la naturaleza del problema como las medidas adecuadas para combatirlo. Los programas de investigación requieren inversión pública. Esta inversión es inadecuada en prácticamente todos los países de las Américas. Lo que está en juego es el costo y la eficacia de los programas actuales y futuros de gestión y reducción de la contaminación. Un programa robusto de investigación tiene la ventaja de mantener a los científicos en contacto con sus colegas en todo el hemisferio para poner el conocimiento científico generado en otros países a disposición de todos.

Elaboración de políticas y gobernanza

Los programas de gestión eficaz de la contaminación requieren declaraciones explícitas de los objetivos de política y de las políticas y normas para alcanzar dichos objetivos. Así, por ejemplo, la declaración de objetivos debe enumerar si la estrategia de control de la contaminación implicará controles gubernamentales directos, un sistema más indirecto basado en incentivos o alguna mezcla de ambos. Es importante reconocer que el mero desarrollo de una norma no es suficiente. Se deben fortalecer o diseñar políticas para seleccionar el nivel de la norma y resolver los problemas de cumplimiento y aplicación. Las políticas integrales de control de la contaminación normalmente tienen componentes que cubren:1) educación; 2) incentivos basados en el precio, como permisos de contaminación comercializables; 3) un sistema de estándares; y 4) una jerarquía de mecanismos de implementación.

La gestión de la calidad del agua también requiere un conjunto eficaz de instituciones para establecer las políticas, supervisar los resultados y hacer cumplir las normas y políticas resultantes. Para esto es necesario contar con marcos legales adecuados, agencias públicas, políticas y mecanismos de aplicación apropiados. Las instituciones fuertes, confiables y que cuentan con los recursos humanos y financieros adecuados son una parte esencial de cualquier programa efectivo de control de la contaminación, sin embargo, en gran medida están ausentes en las Américas.

Objetivo de Desarrollo Sostenible 6. Meta 6.3 Calidad del agua

La meta 6.3 se refiere a la reducción de la contaminación, la descarga ilegal de desechos y los materia-

les químicos peligrosos, con una mención especial a la reducción a la mitad de las aguas residuales no tratadas y el aumento del reciclaje y la reutilización segura. En cada capítulo de los países se ha hablado de los esfuerzos para cumplir con estos desafíos y se incluyen algunos ejemplos que han promovido la reutilización, especialmente en países con menor cantidad de agua.

Las dimensiones de la calidad del agua sociedad, salud, mujeres, energía y monitoreo

Puesto que la calidad del agua depende de las actividades humanas y actúa directamente sobre la salud, este libro ha elaborado subcapítulos que tratan de estos importantes aspectos: "Agua y sociedad: Las múltiples dimensiones de la calidad del agua" y "Agua y salud". Como se mencionó anteriormente, para entender el estado de la calidad del agua en los diferentes recursos y sus niveles es esencial desarrollar mejores programas de monitoreo. Se han incluido dos subcapítulos sobre aspectos especiales del seguimiento: "Monitoreo biológico de la calidad del agua" y "Aplicación de nuevas metodologías en el monitoreo y planes de zonificación de cuerpos de agua" que dan ejemplos de componentes y metodologías importantes para futuros programas de monitoreo.

La importancia del rol de las mujeres en el aseguramiento de la calidad del agua en el hogar, la agricultura, la industria y otros sectores económicos, es un tema que no siempre se aborda, por lo que el programa Mujeres en la Ciencia de IANAS, en la misma línea de prioridad de la UNESCO respecto a la igualdad de género, ha aportado un capítulo especial "Género, mujeres y calidad del agua", que trata de las experiencias de varios países en desarrollo de América Latina y el Caribe que demuestran la importancia de la calidad del agua y el tratamiento de las aguas residuales en la vida de las mujeres.

Finalmente, el Programa de Energía llevó a cabo pequeños estudios en la mayoría de los países representados en IANAS para evaluar si ha habido avances en el uso de energía renovable para asegurar la calidad del agua. Sus hallazgos han sido presentados en un capítulo especial que ilustra algunos ejemplos en las Américas.

Referencias bibliográficas

Schindler, D.W. (1977). Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science* 195, pp. 260-262.

Tundisi, J.G.; Matsumuro-Tundisi, T.; Ciminelli, V.S. & Barbosa, F.A. (2015). Water availability, water quality water governance: the future ahead. Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future. (Proceedings of the 11th Kovacs Colloquium, Paris, Francia, junio 2014). *IAHS Publ.* 366, 2015.

Aspectos importantes relacionados con la Calidad del Agua

Agua y sociedad
La multidimensionalidad de la calidad del agua

María Luisa Torregrosa (México), Daniela de las Mercedes Arellano Acosta (Cuba) y Karina Kloster (México)

Introducción

El abordaje de los problemas relacionados con la calidad del agua en la región no es una tarea sencilla. A pesar de los múltiples esfuerzos realizados por los distintos gobiernos a partir de la década de los 70, el retraso de muchos de los países por expandir los servicios de agua y saneamiento en cantidad y calidad suficientes, particularmente en las comunidades periurbanas y rurales, aún se mantiene. Sobre todo, en los países de América Latina hay una gran heterogeneidad en las formas de acceso al agua. Todavía existe un amplio sector de población localizado en zonas marginales y periurbanas que accede al agua a través de camiones tanques, garrafones de bajo costo, de fuentes cercanas no seguras, entre otros, todos ellos poco confiables respecto de la calidad del agua (Jiménez, 2009),[1] sin mencionar los riesgos a los que está sujeta la población rural con el alto grado de contaminación de fuentes por problemas de eutrofización u otros tipos de contaminación que se incrementan por la ausencia de drenaje y las formas de disposición final de aguas grises y negras.

También en los asentamientos urbanos esta disposición final es un problema que persiste en la actualidad en nuestros países, además de los que se derivan de la falta de inversiones para mantener y mejorar la infraestructura. En muchas ciudades aún son inexistentes los sistemas de drenaje y de saneamiento, y muchas veces, cuando existen, no son operados correctamente o nunca logran ser puestos en operación.

Asimismo, persiste la ausencia o la limitación de los marcos regulatorios y su aplicación en cuanto a saneamiento se refiere, así como en la disposición final de aguas residuales de las ciudades, de las industrias –particularmente la extractiva– y de la agricultura, lo que ha repercutido en importantes consecuencias para la calidad del agua de nuestros países.

Otro obstáculo importante para mejorar la calidad del agua, en muchos de nuestros países, es el retraso o, en el peor de los casos, la ausencia de datos confiables que indiquen la calidad actual. Con frecuencia, los datos de los servicios de saneamiento sólo se refieren a las aguas negras dispuestas a través del alcantarillado sin considerar su tratamiento, el de las aguas grises y su disposición final segura en los cuerpos receptores. Lo anterior tiene importantes consecuencias y una incidencia que se ve reflejada en la cantidad de fuentes contaminadas y en las altas tasas de enfermedades de origen hídrico en la población.

Estas deficiencias en la calidad del agua con que se abastece a la población, ya sea que esté conectada a redes o se obtenga por otros medios, ha llevado a que las personas recu-

1. Estudios independientes llevados a cabo por instituciones académicas revelan que, a pesar de que un alto porcentaje del agua es clorada, del agua recibida en los hogares sólo 30% de los casos cumple con los requisitos establecidos para la presencia de micro organismos y residuos clorinos (Jiménez *et al.*, 2002).

rran a la compra de agua embotellada, poco regulada y sin certidumbre de la calidad que distribuye (Pacheco-Vega, 2017), o a adquirir sistemas caseros de potabilización de agua, lo que lleva a incrementar el costo de este recurso en 30 o 50% del precio oficial, costo que generalmente asumen los sectores menos favorecidos de la población o, en su defecto, pagan el costo en salud por no poder hacerlo.

Viendo estos resultados cabe preguntarnos: ¿por qué tenemos tanta dificultad en obtener una buena calidad de agua en nuestros países? ¿Qué requeriríamos para lograrlo? ¿Qué factores son los fundamentales para disminuir el déficit de agua y saneamiento? ¿Qué relación hay entre servicios de agua y saneamiento, y disponibilidad de agua y de tecnologías, situación económica, marco legal, capacidad institucional y políticas del agua?

Existen múltiples estrategias formales e informales de abasto de agua que han probado ser exitosas tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo y van desde la gestión pública estatal o municipal, participación público privada, modelos cooperativos hasta la gestión comunitaria, entre otras (Torregrosa y Jiménez 2009:348; Hukka y Katko, 2009, Pietilä *et. al*., 2009; Muradian *et. al*., 2013). En el caso de la disposición final de aguas grises y negras y del saneamiento, los problemas que confrontamos son todavía más complejos y muchas veces trascienden las posibilidades de ser resueltos a nivel comunitario. Existen experiencias importantes de trabajar el desalojo a nivel comunitario pero muy pocas de enfrentar y resolver los problemas de saneamiento. Esto se ve reflejado finalmente en la calidad del agua.

De lo anterior podemos entonces pensar que, en buena parte, el problema de la calidad del agua radica en la multiplicidad de factores que lo determinan. Estamos acostumbrados a abordar los problemas relacionados con el agua de una manera fragmentada, desde las diferentes especialidades o ámbitos de experiencia. Pero la solución de los problemas relacionados con la calidad del agua es compleja y multidimensional. En este sentido, no son únicamente cuestiones económicas, tecnológicas o institucionales. Es importante profundizar en otros aspectos poco considerados que pueden estar incidiendo en la obtención de una mejor calidad del agua.

Por lo anterior, también resulta válida la pregunta: ¿por qué es tan difícil poner en interacción diferentes maneras de entender, ver y resolver los problemas relacionados con el agua y el saneamiento y hacer que estas diferencias sean parte de una política pública?

Box 1

Un acceso al agua en cantidad y calidad para todos los sectores de la sociedad sólo puede lograrse adoptando un enfoque integrado y multidimensional en el que la provisión de servicios de agua y saneamiento se organice a través de una amplia diversidad de arreglos institucionales, formales e informales, que tomen en cuenta las diferentes características y condiciones locales.

Una manera de abordar el tema puede ser desde la perspectiva de ***la naturaleza social del agua***, que nos brindaría la posibilidad de pensar la calidad del agua producida socialmente a partir de la cultura, conocimientos, prácticas, ideas, significados, valores que la proveen y la confronta con la construcción institucional unilateral de lo que se considera el agua y su calidad.

Esto nos lleva a considerar algunas cuestiones que pueden dar luz sobre las dificultades que esto implica, como son la relación agua-sociedad, las formas de gobierno del agua y las relaciones de poder inmersas en ellas.

¿Cómo concebimos la relación entre agua y sociedad?

Una de las formas en que se ha pensado la relación agua y sociedad es a través de la idea de gobernabilidad. La idea sería que un buen gobierno del agua abonaría a la existencia de instituciones que posibiliten garantizar agua en cantidad y calidad suficiente para todos los habitantes, partiendo de la idea de que la gobernabilidad está dada por la forma en que las políticas regulan y coordinan la gestión de los recursos naturales, económicos y sociales y, sobre esta base, asumiendo el planteo realizado por la UNESCO[2] de que "la gobernabilidad del agua está definida por los sistemas políticos, socia-

2. http://www.waterhistory.org/histories/nile
www.theoi.com/Titan/Titanokeanos.html

les, económicos y administrativos que se encuentran en funcionamiento y que afectan, directa o indirectamente, la utilización, el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos, así como la distribución de los servicios de abastecimiento de agua a diferentes niveles de la sociedad" (Global Water Partnership, 2003). A continuación se reflexiona sobre la inclusión, responsabilidad, participación, transparencia, predictibilidad y receptividad, como condiciones necesarias para la buena gobernabilidad y efectiva relación entre agua y sociedad, lo que está lejos de observarse todavía en la realidad latinoamericana.

1. Condiciones necesarias para la gobernabilidad del agua

1.1 Inclusión

Una revisión del contenido de la Declaración Ministerial de La Haya celebrada a principios del presente siglo (2000) se refirió a este aspecto e hizo un llamado a *"gobernar el agua de manera sabia para asegurar la buena gobernabilidad, de manera que se involucre al público y que los intereses de todos los grupos de interesados sean incluidos en la gestión de los recursos hídricos".*

Lo anterior desecha cualquier iniciativa que establezca fronteras para la garantía del servicio de agua en cantidad y calidad, entre quienes residen en zonas marginales, comunidades indígenas o áreas suburbanas y quienes se encuentran establecidos en colonias, repartos, predios o cualquier otra clasificación de asentamiento propio de las clases poseedoras de una mejor posición social y poder adquisitivo.

1.2 Responsabilidad

La gobernabilidad para la gestión de los recursos hídricos entraña responsabilidades para toda la sociedad, lo que debe estar recogido en los principios y bases legales en que se sustenta esa gestión. Esa responsabilidad incluye la prevención de la contaminación por parte de la totalidad de los actores sociales, y los aspectos relacionados con la sostenibilidad financiera del sistema que se adopte. La responsabilidad asociada a una gobernabilidad efectiva del agua exige que se encuentren definidos los roles de esos actores.

Sin justificar a aquellos gobiernos cuyo interés por la gestión sostenible de los recursos hídricos solamente se evidencia en sus discursos en los procesos y campañas electorales, por lo general, hay una limitada percepción de las responsabilidades individuales en cuanto a manejo y protección de los recursos hídricos se refiere.

1.3 Participación

El manejo de los recursos hídricos se realiza considerando los intereses y la participación de toda la sociedad, sin distinción de las capas sociales de las cuales provenga. Por consiguiente, los gobiernos a todos los niveles tienen que desarrollar un enfoque inclusivo durante la formulación y ejecución de las políticas inherentes a esos recursos. En términos de gobernabilidad efectiva del agua, la participación se desarrolla considerando la movilización social y sus capacidades para ejercerla de manera constructiva.

1.4 Transparencia

La transparencia es uno de los principios de la gobernabilidad efectiva, como aparece recogido en la siguiente cita: *"Las instituciones debieran trabajar de manera abierta. Ellas debieran utilizar un lenguaje que es entendible y accesible para que el público en general tenga más confianza en las instituciones complejas. Además de ser abierta, la buena gobernabilidad necesita que todas las decisiones sobre políticas sean transparentes, de manera que tanto las personas al interior de ella y las personas ajenas puedan seguir fácilmente los pasos tomados en la formulación de las políticas. Esto es particularmente importante con respecto a las transacciones financieras"* (Alcocer *et al*., 1988). Para estas transacciones, la transparencia resulta vital, ya que contribuye a vencer el desafío que asumen las sociedades ante la corrupción. No se puede obviar que la transparencia se construye sobre la base del flujo libre de información.

1.5 Predictibilidad

Disponer de información representativa, confiable y suficiente, acerca de todos los escenarios que se vinculan a la gestión de los recursos hídricos, es la base que permite realizar los análisis (técnico económicos, costo/beneficios, presupuestarios y financieros, etc.) pertinentes para poder predecir a las escalas temporal y espacial, cómo y cuándo las instituciones competentes dispondrán de los recursos financieros necesarios para acometer las obras

e inversiones relacionadas con el almacenamiento, protección y distribución de esos recursos, así como para su tratamiento en la etapa en que constituyen residuales.

Una buena práctica a resaltar, establecida en Cuba, validada por el trabajo desarrollado en los últimos 50 años, es la observación sistemática (dos veces al año) de la calidad de las aguas terrestres, mediante una red que cuenta con un número de estaciones entre 2 400 y 3 500. El 75% de estas estaciones clasifica como básicas (generan información descriptiva a largo plazo, de los cuerpos de agua más importantes del país) y el otro 25% corresponde a estaciones de control y vigilancia, la mayoría asociadas a las aguas superficiales; incluye las descargas de residuales.

El inventario de fuentes contaminantes de las aguas terrestres, como herramienta para la vigilancia y control de su calidad y ejercicio de la responsabilidad que atañe al Estado en cuanto a gestión sostenible de este recurso, identifica unas 2 260 fuentes contaminantes principales de las aguas terrestres

Estas informaciones basadas en datos reales sirven de insumos para la adopción de políticas a poner en práctica a corto, mediano y largo plazos, de manera que las instituciones encargadas de esas acciones las puedan cumplimentar con la correspondiente responsabilidad. De hecho, la predictibilidad es una aliada efectiva de la responsabilidad.

1.6 Receptividad

La receptividad en la gestión de los recursos hídricos tiene una gran dependencia de la efectividad de los mecanismos de que las instituciones disponen para la recepción de información desde los niveles más bajos en donde prestan sus servicios de aprovisionamiento de ese recurso con la calidad apropiada.

Se trata de un efectivo sistema de información construido sobre los cimientos de la movilización social y la libertad de expresión para su apropiación social.

A partir de los elementos anteriores, pensamos que el problema de la calidad del agua, como otros tantos en las agendas de los gobiernos de los distintos países de la región, aparece cuando se evalúa cada uno de estos puntos y se comienza a evidenciar que las ideas de gobernabilidad del agua asumen la imagen deseable de la gestión del agua, pero el funcionamiento en la realidad dista de ser la deseable. La forma en que se produce el gobierno del agua se basa en relaciones de poder que subordinan la capacidad de decisiones de unos en detrimento de agendas políticas que no necesariamente guardan correspondencia con los ideales de inclusión. En este sentido, podemos pensar que en el funcionamiento de la sociedad existen obstáculos para la realización del buen gobierno del agua.

2. La enajenación como mecanismo inhibidor de la buena gobernabilidad

Desde la perspectiva de Linton (2010), la construcción hegemónica del agua refiere a un orden social que decide sobre sus significados, sobre los usos del agua, sobre las instituciones, las leyes y las autoridades que se encargan de gestionarla, así como sobre las técnicas y la distribución de los beneficios derivados de su asignación. En su texto se pregunta: ¿cómo se nos enseñó a producir la idea del agua como abstracción, como un compuesto de hidrógeno y oxígeno sintetizado en la fórmula química H2O? Un punto central que señala el autor es que una de las principales características del agua moderna es su simplicidad y su simplificación.

Linton apunta tres características principales de la idea moderna del agua: su universalidad, el hecho de ser cualquier agua (terrestre) y de estar en cualquier lugar. La primera característica supone que el agua bajo cualquier circunstancia se puede reducir a H_2O; la segunda, nos remite a su desterritorialización,[3] a la deslocalización espacial; y, por último, nos advierte sobre su desmaterialización, es decir, que la conquista del agua a través de su abstracción y de su control técnico ha desarticulado las relaciones que los grupos sociales específicos tenían –o tienen– con el agua en territorios particulares.

En síntesis, desde esta perspectiva, lo que la construcción moderna del agua deja fuera es su naturaleza social y, como consecuencia, le quita a la sociedad la capacidad de pensarse a sí misma como productora del agua y de su calidad.

Por lo tanto, el punto de partida para la discusión se reitera recalcando que la naturaleza del

3. También válido para las islas, aunque la dimensión territorial se reduce a municipios y provincias o su equivalente.

agua se funda en los modos en que la sociedad produce el agua a través de sus prácticas, de los conocimientos, ideas, significados, valores y potenciales que le confiere. Apartar a la sociedad de estas ideas, supone construir una enajenación respecto de la naturaleza social del agua y, por lo tanto, una subordinación política de la mayoría de la población. Es en este sentido que el factor poder se vuelve determinante para comprender la gobernanza del agua y el futuro de las instituciones que ejercen su gestión.

Hasta aquí los argumentos que permiten hacer algunas reflexiones y motivar discusiones que den respuesta a la pregunta relacionada con el vínculo agua-sociedad. Tales argumentos conducen a la segunda pregunta que nos formulamos, y que se expone a continuación.

Cómo logramos calidad del agua con esta diversidad

En este punto de la reflexión la dimensión poder deviene central y, por lo tanto, la concepción de ciclo hidrosocial de la geografía crítica expresado en el desarrollo de la ecología política es muy pertinente. Una premisa central de la ecología política, como lo señala Swyngedouw (2004), es que la circulación del agua es un proceso social y físico combinado, por tanto, la idea de circulación nos invita a entender cómo los flujos de agua, de capital y de poder están materialmente unidos (Larsimont y Grosso, 2014:7)

De esta manera, además de examinar cómo el agua fluye dentro del ambiente físico (atmósfera, superficie, subsuelo, biomasa), el ciclo "hidrosocial" también considera cómo el agua es manipulada, utilizada, concentrada por los involucrados sociales, cómo se articulan las luchas por el acceso y control del agua y los mecanismos de exclusión y acceso expresados en las instituciones, a través de factores tales como obras hidráulicas, legislación, instituciones, prácticas y significados simbólicos (Larsimont y Grosso, 2014:8). Cuando hablamos de flujos de agua nos referimos al ciclo hidrosocial completo, no sólo de las relaciones activadas para su acceso, sino también a las relaciones involucradas en los usos, calidad y formas en que se produce su disposición final.

Resulta importante destacar que los recursos naturales existentes en los ecosistemas son el sustento de la vida y que el agua garantiza los servicios de los ecosistemas, al tiempo que el "hombre" es el principal "usuario" de los bienes (y servicios) que aquéllos brindan. Estas interrelaciones determinan la inseparabilidad entre el agua, el desarrollo socioeconómico sostenible y los sistemas de vida.

Por consiguiente, se requiere tomar conciencia acerca de que el ciclo hidrológico que esquematiza la ocurrencia del agua en la naturaleza, desde un enfoque científico, se tiene que percibir como ciclo hidrosocial, dada la incidencia determinante que tiene la sociedad en el comportamiento de cada uno de los componentes de ese ciclo. En este sentido, la toma de conciencia de la construcción social de la calidad del agua es un factor determinante para generar mejores modelos institucionales que posibiliten el buen gobierno del agua.

Box 2

La noción de ciclo hidrosocial se construye en oposición al uso convencional del *ciclo hidrológico*, el que "prosigue eternamente con o sin actividad humana", apunta a una noción estática y cosificada de este ciclo como señala Maidment (1993) (Linton, 2010:231); en sentido opuesto, el *ciclo hidrosocial* "plantea una ciencia cuyo campo es definido entre lo hidrológico y lo social y, por lo tanto, se presenta como un medio de producir conocimiento crítico sobre la naturaleza social del agua" dice Maidment (Larsimont y Grosso, 2014:8)

Una mirada global hacia adelante: Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas hasta 2030

La cuestión principal de los problemas que enfrenta la sociedad relacionados con el agua requiere respuestas globales: los problemas son globales y la integración de sus múltiples aspectos es la solución.

Las actuaciones a escala local han sobrepasado los límites de los ecosistemas[4] y desde ese nivel han

4. La gestión humana del agua no sólo ha puesto en peligro la capacidad de generar un ciclo sustentable de ésta, sino también pone en peligro al agua para las diferentes formas de vida que también dependen de ella (Pacheco-Vega, 2017).

Figura 1. Objetivos del Desarrollo Sostenible 2030

La esencia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible hasta el 2030 aprobados por las Naciones Unidas (Diciembre, 2015), constituye una evidencia de la transversalidad y carácter social del agua. Ninguno de estos objetivos puede cumplimentarse si no se logra "garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y el saneamiento para todos"

generado consecuencias globales. De manera que el cambio en las actuaciones y actitudes de la sociedad ante estos problemas, se tienen que conceptualizar y abordar en todos los niveles, comenzando desde el local, pero siempre con una mirada hacia lo global.

La **Figura 1** intenta esquematizar cómo los 17 ODS se relacionan con el ODS 6 dedicado al agua. Evidencia la visión social del agua y su transversalidad a las escalas local y global.

Esto supone, siguiendo a Sandoval Minero (2017), que el esfuerzo por la consecución de los ODS debe ser mucho mayor en términos financieros, de reformas institucionales, organización y gobernanza. En este sentido el logro del objetivo relacionado con el agua supone la reducción de la pobreza, la mejora en la alimentación y la salud de la población, la asistencia regular de los niños a las escuelas, reducción de cargas domésticas que afectan principalmente a las mujeres, la productividad laboral, reducción de la desigualdad social, a la sostenibilidad de las ciudades, así como al cuidado de los ecosistemas acuáticos marinos e incluso terrestres (Sandoval Minero, 2017:129). Finalmente, una gestión integrada de los recursos hídricos incide en el acceso al agua de calidad.

De lo anterior derivamos, entonces, lo que reconocíamos inicialmente y es que un acceso al agua en cantidad y calidad para todos los sectores de la sociedad sólo puede lograrse rompiendo los obstáculos epistémicos impuestos por las distintas perspectivas disciplinares y adoptando, en su reemplazo, un enfoque integrado y multidimensional, construido a partir de la reapropiación de los saberes y poderes de los ciudadanos con los que se organice el gobierno del agua.

Bibliografía

Alcocer, D.J., E. Kato, E. Robles y G. Vilaclara (1988). Estudio preliminar del efecto del dragado sobre el estado trófico del Lago Viejo de Chapultepec. *Contaminación Ambiental* 4 43–56.

Armienta, M.A.; L.K. Ongley; R. Rodríguez; G. Villaseñor; H. Mangoy (2002). The role of arsenic-bearing rocks in groundwater pollution at Zimapan Valley, Mexico. *Environmental Geology* 42:433–438.

Budds, J (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. *Revista Geografía Norte Grande,* No. 52: 167-184.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2011). Estadísticas del agua en México. México, CONAGUA

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2013). *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento.* México: CONAGUA

Carrillo, A. and Drever, J. (1998). Environmental assessment of the potential for arsenic leaching into groundwater from mine wastes in Baja California Sur, México. *Geofísica Internacional,* 37, 35-39.

Carrillo-Rivera, J.J., Cardona, A., Huizar-Alvarez, R., Graniel-Castro, E. (2008). Response of the interaction between groundwater and other components of the environment in Mexico. *Environmental Geology,* 55, 303-319.

Escolero, O.; S. Kralisch, S.E. Martínez, M. Perevochtchikova (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. 68 N° 3 pp. 409–427.

García, R. (2006). *Sistemas complejos.* Barcelona: Gedisa

Global Water Partnership (2003). Tec Background Text No.7, Peter Rogers and Alan W. Hall

Hukka, J.J. & T. Katko (2009). Complementary Paradigms of Water and Sanitation Services: Lessons from the Finnish Expirience. *Water and Sanitation Services. Public Policy and Management.* Earthcan, UK.

Jiménez, B. (2009) Management of Water in Mexico City, in Mays, L. (ed.) *Integrated Urban Water Management in Arid and Semi-arid Regions around the World.* Paris: UNESCO.

Larsimont, R. y Grosso, V. (2014). Aproximación a los nuevos conceptos híbridos para abordar las problemáticas híbridas. *Cardinalis*, Revista del Departamento de Geografía, Año 2, No. 2, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad de Córdoba, Argentina

Linton, J. (2010). *What is Water? A history of a modern abstraction.* University of Vancouver. Canada: British Columbia Press.

Meerganz Von Medeazza, G. (2006) Flujos de agua, flujos de poder. La aportación de Erik Swyngedouw al debate sobre los recursos hídricos en Latinoamérica y en el Estado Español. *Doc. Anal. Geogr.* 47: 127-139.

Muradian R., B. Nath, A. Jafar and L. Doménech (2009). The South Asian Experience: Financial Arrangements for Facilitating Local Participation in Water and Sanitation Services (WSS) Interventions in Poor Urban Areas- Lessons from Bangladesh and Nepal. *Water and Sanitation Services. Public Policy and Management.* Earthcan, UK.

Peña, A. (2011). Introducción al libro *What's Water* en *Boletín* 74. México: El Colegio de Hidalgo.

Pietilä P., M. J. Gunnarsdóttir, P Hjorth and S. Balslev (2009). Decentralized Services: The Nordic Experience. *Water and Sanitation Services. Public Policy and Management.* Earthcan, UK.

Swyngedouw, E. (2004). *Social power and the urbanization of water: flows of power.* Oxford: Oxford University Press.

Torregrosa, M.L. (Coordinadora) (2013). *AGUA. Agenda ciudadana de ciencia, tecnología e innovación.* México: CONACYT, AMC, UNAM.

Torregrosa, M.L & B. Jiménez (2009). Faxcing the Universal Access of Water and Sanitation in Mexico. *Water and Sanitation Services. Public Policy and Management.* Earthcan, UK.

Agua y salud

Martín Forde (Grenada), Ricardo Izurieta (Ecuador), Banu Ôrmeci (Canadá),
Mercedes Arellano (Cuba) y Kerry Mitchell (Grenada)

Introducción

La relación entre el agua y la salud humana es inmutable. El agua es imprescindible no sólo para la vida, sino para las buenas condiciones de salud y bienestar humanos. Dado que más de 60% del cuerpo humano es agua, poder contar con ella en cantidades y calidad suficientes es fundamental tanto para nuestra salud como para nuestro bienestar.

Cuando las Naciones Unidas lanzó el primer Decenio Internacional del Abastecimiento de Agua Potable y del Saneamiento (1981-1990) en 1977, su propósito era concientizar y apoyar las iniciativas de agua limpia y saneamiento en el mundo entero. Se reconoció y adoptó la filosofía de que todos los pueblos, independientemente de su estatus socioeconómico, tienen el derecho fundamental al agua potable, tanto en cantidad como en calidad, para satisfacer sus necesidades básicas. En la conferencia de vigilancia centinela que se celebró en Almaty (antes Alma-Atá), Kazajstán, en 1978, cuya finalidad era la de dilucidar los factores relacionados con la atención primaria de la salud, se determinó la necesidad de un suministro adecuado de agua potable y saneamiento básico.

En el año 2000, la ONU puso en marcha algunos compromisos políticos encaminados a atender los principales problemas de desarrollo que enfrenta el mundo dentro de un plazo de tiempo determinado, a través de ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Si bien muchos de estos ODM pueden estar vinculados directa o indirectamente a temas de abastecimiento de agua y saneamiento, el Objetivo 7 sobre Sostenibilidad Ambiental y, en concreto, el Objetivo 10, señalan que la finalidad para 2015 es reducir a la mitad el porcentaje de población que no cuenta con acceso sostenible a agua potable segura y a instalaciones sanitarias. En 2015, la ONU puso en marcha los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, que de nuevo declararon como uno de sus objetivos (Objetivo 6) que todos los seres humanos contaran con acceso a agua potable segura y asequible para el año 2030.

El Secretario General de la ONU, António Guterres, reiteró el compromiso constante e ininterrumpido de suministrar agua potable segura a todos durante el lanzamiento del Decenio Internacional para la Acción 2018-2028, en Nueva York, el 22 de marzo de 2018, Día Mundial del Agua. Los principales objetivos de este último plan sobre el agua se centran en hacer un llamado mundial a la acción para el agua, el saneamiento y la higiene (o WASH, por sus siglas en inglés), así como prestar una mayor atención a los ODS relacionados con el agua y la gestión integrada de los recursos hídricos los próximos diez años.

Martín Forde martinforde@mac.com Doctor en Ciencias, Universidad de San Jorge. **Ricardo Izurieta** rizuriet@health.usf.edu Department of Global Health, University of South Florida (USF); Colegio de Medicina, Universidad San Francisco de Quito (USFQ), **Banu Ôrmeci** banu.ormeci@carleton.ca Profesora Titular y Cátedra Jarislowsky en Agua y Salud, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Carleton, Ottawa ON, Canadá. **Mercedes Arellano** marell@ama.cu Investigadora Auxiliar, Comisión del Agua (CA); Academia de Ciencias de Cuba (ACC); Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). **Mitchell** kmitche3@sgu.edu Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad de San Jorge.

Los problemas de la mala calidad del agua potable no son exclusivos de los países en desarrollo, ya que también se experimentan en varios países desarrollados. Por ejemplo, aunque muchos países desarrollados han logrado importantes mejoras en sus sistemas de tratamiento de agua potable, los patógenos emergentes han provocado serios brotes de enfermedades transmitidas por el agua entre las poblaciones a las que sirven. En abril de 1993, Estados Unidos de América (EUA) refirió el mayor brote de enfermedades transmitidas por el agua, que tuvo lugar en la ciudad de Milwaukee, Wisconsin (Dore, 2015). En la última evaluación del sistema de suministro de agua en EUA, una investigación sobre 680,000 violaciones de calidad del agua y monitoreo que identificó la Agencia de Protección del Medio Ambiente reveló que hasta 63 millones de personas en EUA se encuentran expuestas a agua potencialmente contaminada.

Contaminantes del agua y la salud

El agua que consumen los humanos debe estar limpia y libre de contaminantes químicos y microbianos. Los efectos negativos para la salud que pueden surgir por beber agua contaminada varían desde efectos graves para la salud, como enfermedades gastrointestinales graves, hasta efectos a largo plazo, como cáncer, y retrasos en el desarrollo físico y neurológico de los niños.

Contaminantes químicos

Los contaminantes químicos pueden encontrarse en los suministros de agua como resultado de su introducción a través de procesos naturales y/o fuentes antropológicas. Existen más de 100,000 sustancias químicas registradas que se utilizan en productos de fabricación y comerciales (Schwarzman y Wilson, 2009), muchas de las cuales penetran en cuerpos de agua naturales. Como consecuencia, varios organismos reguladores han establecido límites en cuanto a la cantidad de estos contaminantes que puede haber en el agua potable (**Cuadro 1**).

Los contaminantes químicos se pueden clasificar como carcinogénicos, genotóxicos y mutagénicos, según sus efectos en la salud humana. Los contaminantes cancerígenos ocasionan que las células se vuelvan cancerosas y favorecen su crecimiento. Los contaminantes genotóxicos causan cambios en la estructura del material genético de las células. Los contaminantes mutagénicos causan cambios permanentes y hereditarios en el material genético, y las sustancias químicas cancerígenas y genotóxicas suelen ser mutagénicas también. En niveles de concentración bajos es posible que el espacio de tiempo para que los primeros efectos crónicos sobre la salud se manifiesten, sea de varios años o hasta de varias décadas después de la exposición. Si los niveles de concentración de contaminantes químicos son muy altos, es posible observar efectos graves en la salud en unos cuantos días.

Los productos químicos orgánicos que se encuentran de forma natural también pueden poner en peligro la calidad del agua, aunque son pocos en comparación con los contaminantes químicos inorgánicos que se encuentran de manera natural. El principal contaminante orgánico que se encuentra de forma natural en las aguas superficiales es la microcistina, una toxina producida por las cianobacterias y que podría representar un grave peligro para la calidad y seguridad de las aguas para consumo humano y usos recreativos durante la proliferación de algas. La proliferación de algas se debe principalmente a la contaminación por nitrógeno y fósforo, y su frecuencia, intensidad y duración han aumentado en los últimos años debido al mayor número de descargas de aguas residuales en los cuerpos de aguas superficiales y los efectos del cambio climático. En 2014, alrededor de 400,000 personas se quedaron sin agua utilizable en Toledo, Ohio, después de una floración de algas en el Lago Erie, que generó altos niveles de toxinas en el agua (Benedict *et al*., 2017). El peligro de los contaminantes orgánicos de origen natural para los recursos hídricos es mucho peor en los países en desarrollo en donde las aguas residuales prácticamente no son tratadas.

Entre las fuentes antropológicas de contaminantes del agua se incluyen las aguas residuales y las descargas de aguas residuales industriales, las actividades agrícolas, las operaciones mineras, los derrames accidentales y los vertederos ilegales, así como los productos químicos de los sistemas de tratamiento y distribución de agua. Las aguas residuales domésticas e industriales son las principales fuentes de contaminantes emergentes, como lo son los disruptores endocrinos, los productos far-

macéuticos y los productos para el cuidado personal, que se encuentran en partes por trillón (ppt) a partes por billón (ppb) en las aguas superficiales. Incluso en estos niveles de concentración diminutos, se ha demostrado que los contaminantes emergentes tienen efectos adversos en la vida acuática y la salud humana (Sumpter y Johnson, 2005).

Otras fuentes de contaminantes emergentes se relacionan con las actividades agrícolas, debido a su uso de herbicidas y plaguicidas que se transportan en los escurrimientos superficiales a los cuerpos de agua. Las actividades mineras y los residuos industriales son los principales generadores de metales pesados (por ejemplo, Cr, Ni, Cu, Pb, Hg) y sus efectos tóxicos para la salud en los seres humanos se han documentado extensamente. A diferencia de los compuestos orgánicos, los metales pesados no pasan por un proceso de degradación biológica o química, y su toxicidad, biodisponibilidad y transporte en el medio ambiente se determina por las reacciones de oxidación/reducción, precipitación y adsorción. Se han establecido límites para las concentraciones de metales pesados en el agua potable (**Cuadro 1**).

Las altas concentraciones de plomo en el agua potable, debido a la lixiviación del plomo de los sistemas de plomería y distribución de agua, continúan representando un problema importante de salud pública en todo el mundo. En el reciente caso de contaminación por plomo en agua en Flint, Michigan, EUA, en abril de 2014, los consumidores encontraron concentraciones muy altas de plomo en su agua potable, y las muestras de al menos un cuarto de las casas excedían el límite federal de 15 ppb, además de que las mediciones de otras muestras alcanzaban concentraciones muy altas de 13.200 ppb (Lazarus, 2016). Esto dio lugar a que el número de bebés y niños que mostraban niveles elevados de plomo en sangre se duplicara (Hanna-Attisha *et al*., 2015).

Los desinfectantes químicos que se utilizan en los procesos de tratamiento también pueden favorecer la formación de subproductos de desinfección (DBP, por sus siglas en inglés) clorados, yodados y nitrogenados (DBP). Se ha relacionado a los trihalometanos (THM), que son DBP clorados, con el cáncer de vejiga en concentraciones más bajas que las establecidas en las regulaciones (Villanueva *et al*., 2004).

Por ahora, las regulaciones tienden a enfocarse en productos químicos particulares y objetivos específicos relacionados con la salud. Sin embargo, este enfoque no es muy realista en el caso de los contaminantes emergentes, ya que éstos tienden a estar presentes en concentraciones muy bajas en el agua y la gente está expuesta durante períodos prolongados, no a una sola, sino a una mezcla de estas sustancias químicas. Es necesario contar con más conocimientos para evaluar los efectos resultantes de la exposición crónica a múltiples sustancias químicas, y comprender las interacciones que llegan a pasar (OMS, 2017a). Por ahora, no existe un consenso en cuanto a la metodología que hay que adoptar para la evaluación de riesgos y la gestión de las mezclas de sustancias químicas. La Comisión Europea (UE, 2012) recomendó dar prioridad a la evaluación de riesgos de las mezclas químicas a partir de varios parámetros, entre los que se incluyen las características químicas: prevalencia, efectos adversos para la salud en niveles de exposición típicos, persistencia y posible bioacumulación y, por último, umbrales de concentración. Hoy día, las normas de la OMS relativas a la calidad del agua potable (OMS, 2017a) recomiendan un enfoque aditivo para los nitratos/nitritos y THM (trihalometanos) y señalan la necesidad de analizar las mezclas de plaguicidas que tienen estructuras y mecanismos de acción similares, como la atrazina y la simazina.

En vista de la enorme cantidad de contaminantes químicos, la complejidad de sus químicas e interacciones, las dificultades que implica medir y estudiar sus efectos en los seres humanos y el medio ambiente, la necesidad de sistemas de tratamiento de alta tecnología con costos muy elevados para la eliminación de éstos, el enfoque más eficaz en el manejo de contaminantes químicos es proteger las fuentes de agua potable, minimizar o eliminar todas las fuentes de contaminación y cambiar a sustitutos químicos menos perjudiciales siempre que sea posible.

Contaminantes biológicos

El agua y los alimentos son las dos principales vías de exposición a varios microorganismos gastrointestinales cuyos reservorios son los humanos, los animales y/o el medio ambiente. Todos los segmentos de la población humana son susceptibles a los patógenos transmitidos por el agua, pero son los muy jóvenes, los ancianos y las personas con inmunodeficiencias graves quienes sufren de manera desproporcionada los efectos más peligrosos.

Los contaminantes microbianos del agua se pueden dividir en los principales grupos que se mencionan a continuación: virus, bacterias, protozoos, metazoos (helmintos) y algas (**Cuadro 2**). El virus puede infectar a todos los organismos vivos, incluyendo bacterias, plantas, animales y humanos. Los virus más importantes desde la perspectiva de la contaminación del agua son los siguientes: rotavirus, astrovirus, norovirus, hepatitis A, hepatitis E, Coxsackie, enterovirus, virus de la poliomielitis, adenovirus y echovirus. Estos virus se transmiten principalmente por agua contaminada a través de la ruta fecal-oral.

Si bien la mayoría de las infecciones virales humanas son asintomáticas o producen síntomas leves, pueden surgir casos clínicos de moderados a graves durante los brotes. EUA reportó 64 brotes virales transmitidos por agua en el periodo 1971-2006 (Craun *et al*., 2010), y Europa reportó 136 brotes similares entre 2000 y 2007 (ENHIS, 2009). Aunque es de esperarse que la aparición de brotes virales transmitidos por agua sea más frecuente en los países de ingresos medios y bajos, la falta de recursos y técnicas para detectar contaminantes virales en el agua en estos países explica la aparente escasez de dichos informes.

La *vibrio cholera* ha sido responsable de epidemias mortales que han ocasionado miles de muertes en todo el mundo durante siglos. Pese a que se han logrado grandes avances para mejorar el saneamiento del agua, los pocos y limitados recursos en numerosos países, muchas veces exacerbados por los constantes conflictos, significa que todavía habrán de esperarse más muertes a causa de este patógeno (Izurieta, 2006). Tres de las seis cepas de *Escherichia coli* (0127, 0148 y 0157) son las principales bacterias patógenas transmitidas por el agua. Otras bacterias, como la *Salmonella* spp., *Shigella* spp. y la *Campylobacter* spp. también han sido patógenos causantes de muchos brotes transmitidos a través del agua.

Una preocupación creciente es la aparición de nuevas bacterias patógenas que se transmiten por el agua. Se ha encontrado en el agua potable la *Helicobacter pylori*, un componente necesario en el proceso de patogénesis del cáncer gástrico, así como otros patógenos como la *Mycobacterium Avium Complex* (MAC) y la *Aeromonas hydrophyla*. Es necesario actualizar los métodos estándar de laboratorio e introducir métodos biomoleculares y de fluorescencia alternativos que detectan bacterias viables pero no cultivables en el agua (Cabral, 2010).

La epidemia de VIH/SIDA ha puesto de manifiesto la patogenicidad de parásitos como el *Cryptosporidium* spp. entre las personas con inmunodeficiencias graves, los jóvenes y los ancianos. También se han asociado las cianobacterias toxigénicas con la eutrofización y las intoxicaciones masivas en humanos y animales (Tundisi, 1998). Tan hay una creciente preocupación, que incluso el objetivo largamente buscado de erradicar el gusano de Guinea (*Dracunculus medianesis*) mediante mejoras considerables de la seguridad del agua potable, pudiera no lograrse debido a la aparición de reservorios caninos (Cairncross, 2002).

Últimamente, la aparición de Microorganismos Resistentes a los Antibióticos (ARM, por sus siglas en inglés) debido al uso excesivo de antibióticos en animales destinados a la producción de alimentos, ha llevado a la OMS a sugerir a los agricultores y a la industria alimentaria en general, que eviten el uso de antibióticos de forma periódica para prevenir enfermedades y promover el crecimiento en animales sanos (OMS, 2017b). Los estudios iniciales que se han realizado en Ecuador han revelado una prevalencia de 71.2% de *E. coli* resistente a la colistina y una prevalencia de 65.9% de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) que produce *E. coli* resistente en heces de pollos y cerdos, y señalan que estas altas prevalencias se asociaron con el uso de antibióticos en fórmulas de alimentación para cerdos y pollos. Puesto que actualmente no existen restricciones para la eliminación de los sólidos biológicos de los animales en cuerpos de agua, estas heces se ha venido descargando en arroyos, ríos y lagos. Por lo tanto, es posible que los ARM ya se encuentren presentes en las aguas naturales de Ecuador (Izurieta y Yamamoto, 2018), lo que podría ocasionar efectos adversos para la salud al ser consumidos por humanos.

Efectos de las condiciones económicas en la calidad del agua y la salud

Las aguas terrestres pueden considerarse una parte de los procesos productivos que generan costos que se incluyen en el equilibrio financiero (ingre-

sos, cargos) de estos procesos. Es por esa razón que la gestión del agua (incluida la protección) se tiene muy presente en el contexto económico.

Las dimensiones económicas actuales de la gestión del agua se originaron a fines del siglo pasado. Durante mucho tiempo, los economistas habían considerado el agua sólo como un componente de los diversos procesos de producción. En cambio, otros economistas han comprobado que el agua es fundamentalmente un tipo diferente de recurso. Aguilera-Klink (1995) señaló: "el agua es más que un aspecto de la producción. Es más bien, un factor de cohesión social, económico y ambiental". Y después (2001) afirmó que "el agua puede verse desde diferentes perspectivas: como elemento de producción, como una cuestión financiera y como un recurso eco-social".

La economía tiene un impacto directo en varios aspectos relacionados con el agua, como su calidad y, por lo tanto, sus diversos usos. Si la calidad del agua es baja, aparecen enfermedades relacionadas con ésta.

La mayoría de los países desarrollados cuenta con los recursos financieros y las tecnologías necesarias para mitigar los impactos del desarrollo industrial. Estos países también han desarrollado los instrumentos y regulaciones legales necesarios que establecen los límites permisibles para la eliminación de las aguas residuales y las sustancias contaminantes que se generan a partir de diferentes procesos. No obstante, los países en desarrollo no han contado con las inversiones y transferencia tecnológica adecuadas para gestionar su agua. El alto crecimiento demográfico que se ha experimentado en la mayoría de los países en desarrollo sólo ha empeorado aún más este problema. En muchos países en desarrollo, los ríos y lagos que sirven como fuentes principales de agua potable se encuentran muy contaminados debido a la eliminación imprudente e indiscriminada de desechos domésticos e industriales. Estas prácticas continúan en parte debido a la falta de regulaciones legales y/o a la falta de voluntad política para hacer cumplir las leyes y regulaciones oficiales.

En los países con recursos financieros limitados, la contaminación de las fuentes principales de agua potable suele estar asociada con el desagüe de aguas grises que fluyen a lo largo de las zanjas construidas cerca de las casas, la falta de recolección diaria de los desechos sólidos y el efecto de los desechos lixiviados. Estos problemas son causados por la falta de sistemas de alcantarillado y estaciones de tratamiento y plantas de purificación de agua que cumplan con los estándares de calidad reconocidos internacionalmente.

Es bien sabido y ha sido ampliamente difundido que en muchos países tropicales el agua de lluvia se acumula en depresiones del suelo, recipientes sin tapas o neumáticos abandonados, convirtiéndose así en depósitos de larvas de mosquitos como el *Aedes aegypti,* transmisor de la enfermedad del dengue.

Las inversiones que se han realizado para proteger el agua potable de una población pueden generar muchos beneficios sociales, entre ellos, el ahorro de los escasos recursos financieros del sector público, ya que reducen las enfermedades relacionadas con el agua. Según el Banco Mundial, las pérdidas del Producto Interno Bruto en el continente africano como consecuencia de la malaria (2003) superaron los 12,000 millones de dólares (Larbi Bouguerra, 2007).

Así, pues, se recomienda que los países en desarrollo evalúen las posibles soluciones y formas de suministrar agua de calidad adecuada, a pesar de que los problemas que se han mencionado con anterioridad no se hayan resuelto y que las limitaciones financieras no permitan darles una solución en el corto plazo. Contar con la voluntad política de los gobiernos es de suma importancia. Es necesario cuantificar los costos, establecer prioridades para dar acceso a este recurso natural teniendo en cuenta la inclusión social y dando prioridad a las comunidades más vulnerables que tienen menos recursos materiales y financieros. De esta forma, es más factible que las sociedades logren contar con hábitats humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, de acuerdo con el ODS No. 11 de la ONU para el año 2030.

Escasez de agua y salud

La escasez de agua es la falta de recursos hídricos suficientes y fácilmente disponibles para satisfacer las demandas de quienes viven en una región

específica. La falta de agua potable para satisfacer las necesidades diarias puede acarrear graves consecuencias para la salud. En todo el mundo, más de 2,800 millones de personas sufren la escasez de agua potable adecuada para consumir al menos un mes del año. Se prevé que el problema de un suministro insuficiente de agua potable segura empeore en un futuro cercano debido al cambio climático, el crecimiento de la población y el incremento de la demanda, en particular, del sector agrícola.

Un suministro insuficiente que no satisface las necesidades diarias tiene efectos inmediatos y distales en la salud y el bienestar humanos. Se estima que las personas requieren una ingesta diaria mínima de agua que oscila entre 1.8 y 5 litros per cápita (Gleick, 1996). Estas estimaciones, no obstante, aumentan en climas más cálidos, cuando la actividad física es superior a lo normal, y en subpoblaciones específicas con vulnerabilidad especial, como mujeres embarazadas o en periodo de lactancia. Por esto, la OMS recomienda un mínimo de 7.5 litros per cápita al día para satisfacer los requisitos de la mayoría de las personas bajo casi todas las condiciones.

Contar con suficiente agua es primordial para una adecuada higiene humana. Si las personas deben caminar más de 1 kilómetro o emplear más de 30 minutos de su tiempo para conseguir agua, lo más seguro es que la recolección no sea suficiente para una higiene adecuada (Gleick, 1996). En consecuencia, se ha observado que muchas enfermedades "transmitidas por el agua" pueden etiquetarse como enfermedades "por falta de higiene" a partir de la escasez de agua disponible para las actividades humanas necesarias, como lo son lavarse las manos, preparar comida o lavar utensilios de cocina (Bradley, 1977).

La OMS calcula que cada año alrededor de 2.2 millones de personas mueren de diarrea, de las cuales 90% son niños. A su vez, muchas más sufren problemas de salud crónicos y debilitantes. Las enfermedades diarreicas y otras causadas o empeoradas por la escasez de agua se han relacionado también con otras condiciones de salud adversas como la desnutrición, una baja ingesta de alimentos, la absorción deficiente de nutrientes y los sistemas inmunitarios comprometidos (Rice *et al*., 2000; Stephenson, 1999; ONU, 2003).

Especialmente en los países en desarrollo, como resultado de la escasez de agua, mucha gente se ve obligada a beber agua de mala calidad de fuentes no tratadas, como arroyos o ríos locales con contaminación química, microbiana o ambas. Además, el suministro inadecuado de agua significa que las aguas residuales no fluyen libremente, lo que propicia las secuelas propias de los problemas relacionados con la salud y agrava la propagación de enfermedades transmitidas por vectores, como la malaria.

La escasez de agua también afecta la salud humana de muchas otras maneras. Por ejemplo, tener que recorrer largas distancias para buscar agua, una tarea que generalmente realizan sólo las mujeres y los niños, impone una carga calórica excesiva en esta población que ya de por sí sufre desnutrición. Además, esta necesaria labor exige mucho tiempo y esfuerzo de estos segmentos vulnerables de la población. Ello, a su vez, limita seriamente las oportunidades y el tiempo del que disponen las mujeres y los niños para participar en otras actividades socialmente productivas, como las pequeñas empresas comerciales, los huertos localizados y la educación.

El sector agrícola es, sin duda, el mayor usuario de recursos de agua dulce en la actualidad. Se prevé que las demandas adicionales que este sector impondrá a los recursos hídricos aumentarán aún más con el crecimiento de la población, la práctica constante de técnicas ineficaces de cría de animales y riego de cultivos, y el cambio climático antropogénico.

El Instituto Internacional de Gestión del Agua (IWMI, por sus siglas en inglés) prevé que cerca de mil millones de personas podrían no contar con acceso al agua para el año 2025. Además, augura que, a menos que se atienda el problema de escasez de agua, muchos países pronto deberán tomar decisiones muy difíciles en cuanto a cómo reducir la cantidad de agua que se utiliza en la agricultura, para transferirla a otros usuarios que compiten por ella en los sectores industrial y doméstico. Es por ende urgente que se realicen inversiones importantes en los sistemas de suministro de agua para garantizar a todos que se suministre agua adecuada y de alta calidad, y esta necesidad debe darse a conocer de manera clara para que se tomen acciones al respecto en todas las políticas de salud pública.

Cuadro 1. Límites reglamentarios de sustancias químicas en el agua potable

Chemical	WHO	U.S. EPA	EU	Chemical group
Acrylamide	0.5	[a]	0.1	Organic
Alachlor	20	2	—	Organic
Aldicarb	10	—	—	Organic
Aldrin + dieldrin	0.03	—	—	Organic
Antimony	20	6	5.0	Inorganic
Arsenic	10	10	10	Inorganic
Asbestos (million fibers >10 µm per liter)	—	7	—	Inorganic
Atrazine	100[b]	3	—	Organic
Barium	700	2,000	—	Inorganic
Benzene	10	5	1.0	Organic
Benzo[*a*]pyrene	0.7	0.2	0.010	Organic
Berylium	—	4	—	Inorganic
Boron	2,400	—	1,000	Inorganic
Bromate	10	10	10	DBP
Bromodichloromethane	60	—	—	DBP
Bromoform	100	—	—	DBP
Cadmium	3	5	5.0	Inorganic
Carbofuran	7	40	—	Organic
Carbon tetrachloride	4	5	—	Organic
Chloramines (as Cl_2)	—	4,000	—	Disinfectant
Chlorate	700	—	—	DBP
Chlordane	0.2	2	—	Organic
Chlorine	5,000	4,000	—	Disinfectant
Chlorine dioxide	—	800	—	Disinfectant
Chlorite	700	1,000	—	DBP
Chlorobenzene	—	100	—	Organic
Chloroform	300	—	—	DBP
Chlorotoluron	30	—	—	Organic
Chlorpyrifos	30	—	—	Organic
Chromium (total)	50	100	50	Inorganic
Copper	2,000	13,000	2,000	Inorganic
Cyanazine	0.6	—	—	Organic
Cyanide	—	200	50	Inorganic
2,4-D (dichlorophenoxyacetic acid)	30	70	—	Organic
Dalapon	—	200	—	Organic
2,4-DB (dichlorofenoxybutyric acid)	90	—	—	Organic
DDT (dichlorodiphenyltrichloroethane) and metabolites	1	—	—	Organic
Dibromochloromethane	100	—	—	DBP
1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP)	1	0.2	—	Organic
1,2-Dibromoethane	0.4	—	—	Organic
Dichloroacetate	50	—	—	DBP
Dichloroacetonitrile	20	—	—	DBP
1,2-Dichlorobenzene (*o*-dichlorobenzene)	1,000	600	—	Organic
1,4-Dichlorobenzene (*p*-dichlorobenzene)	300	75	—	Organic
1,2-Dichloroethane	30	5	3.0	Organic
1,2-Dichloroethene	50	—	—	Organic
1,1-Dichloroethylene	—	7	—	Organic
cis-1,2-Dichloroethylene	—	70	—	Organic
trans-1,2-Dichloroethylene	—	100	—	Organic
Dichloromethane	20	5	—	Organic
1,2-Dichloropropane	40	5	—	Organic
1,3-Dichloropropene	20	—	—	Organic
Dichlorprop	100	—	—	Organic
Di(2-ethylhexyl) adipate	—	400	—	Organic
Di(2-ethylhexyl) phtalate	8	6	—	Organic
Dimethoate	6	—	—	Organic
Dinoseb	—	7	—	Organic
1,4-Dioxane	50	—	—	Organic
Dioxin (2,3,7,8-TCDD)	—	0.00003	—	Organic
Diquat	—	20	—	Organic
Edetic acid	600	—	—	Organic
Endothall	—	100	—	Organic
Endrin	0.6	2	—	Organic
Epichlorohydrin	0.4	[a]	0.10	Organic
Ethylbenzene	300	700	—	Organic
Ethylene dibromide	—	0.05	—	Organic
Fenoprop/Silvex/2,4,5-TP/2-(2,4,5-trichlorophenoxy)propionic acid	9	50	—	Organic
Fluoride	1,500	4,000	1,500	Inorganic
Glyphosate	—	700	—	Organic
Haloacetic acids (HAAs)[c]	—	60	—	DBP
Heptachlor	—	0.4	—	Organic
Heptachlor epoxide	—	0.2	—	Organic
Hexachlorobenzene	—	1	—	Organic
Hexachlorobutadiene	0.6	—	—	Organic
Hexachlorocyclopentadiene	—	50	—	Organic
Hydroxyatrazine	200	—	—	Organic
Isoproturon	9	—	—	Organic
Lead	10	15	10	Inorganic
Lindane	2	0.2	—	Organic
Mecoprop	10	—	—	Organic
Mercury	6	2	1.0	Inorganic
4-(2-Methyl-4-chlorophenoxy) acetic acid (MCPA)	2	—	—	Organic
Methoxyclor	20	40	—	Organic
Metolachlor	10	—	—	Organic
Microcystin-LR	1	—	—	Algal toxin
Molinate	6	—	—	Organic
Monochloramine	3,000	—	—	Disinfectant
Monochloroacetate	20	—	—	DBP
Nickel	70	—	20	Inorganic
Nitrate	50,000	45,000	50,000	Inorganic
Nitrilotriacetic acid	200	—	—	Organic
Nitrite	3,000	4,500	500	Inorganic
N-Nitrosodimethylamine (NDMA)	0.1	—	—	DBP
Oxamyl (Vydate®)	—	200	—	Organic
Pendimethalin	20	—	—	Organic
Pentachlorophenol	9	1	—	Organic
Pesticides	—	—	0.10	Organic
Pesticides (total)	—	—	0.50	Organic
Picloram	—	500	—	Organic
Polychlorinated biphenyls (PCBs)	—	0.5	—	Organic
Polycyclic aromatic hydrocarbons	—	—	0.10	Organic
Selenium	40	50	10	Inorganic
Simazine	2	4	—	Organic
Sodium dichloroisocyanurate/ cyanuric acid	50,000/ 40,000	—	—	Disinfectant
Styrene	20	100	—	Organic
Tertbutylazine	7	—	—	Organic
Tetrachloroethene (tetrachloroethylene)	40	5	—	Organic
Tetrachloroethylene + trichloroethylene	—	—	10	Organic
Thallium	—	2	—	Inorganic
Toluene	700	1,000	—	Organic
Toxaphene	—	3	—	Organic
Trichloroacetate	200	—	—	DBP
1,2,4-Trichlorobenzene	—	70	—	Organic
1,1,1-Trichloroethane	—	200	—	Organic
1,1,2-Trichloroethane	—	5	—	Organic
Trichloroethene/trichloroethylene	20	5	—	Organic
2,4,6-Trichlorophenol	200	—	—	Organic
2,4,5-T (2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid)	9	—	—	Organic
Trifluralin	20	—	—	Organic
Trihalomethanes (total)	—	80	100	DBP
Vinyl chloride	0.3	2	0.50	Organic
Xylenes	500	10,000	—	Organic

DBP, disinfection by-product.
[a]Each water system must certify annually that when it uses acrylamide and/or epichlorohydrin to treat water, the combination of dose and monomer level does not exceed the levels specified, as follows: acrylamide = 0.05% dosed at 1 mg/L (or equivalent); epichlorohydrin = 0.01% dosed at 20 mg/L (or equivalent). [b]Includes its chloro-*s*-triazine metabolites. [c]Includes the sum of monochloroacetic acid, dichloroacetic acid, trichloroacetic acid, monobromoacetic acid, and dibromoacetic acid.

Fuente: De Villanueva *et al.*, 2014.

Conclusiones

Además de brindar suministros adecuados a partir de 2017 a los 7.5 mil millones de habitantes de este planeta, es fundamental promover que se preste mayor atención a los esfuerzos encaminados a mejorar la calidad del agua para poder garantizar la salud y el bienestar humanos. Esto significa que deberán asignarse recursos consecuentes y consistentes no sólo para construir nuevos sistemas de tratamiento y distribución de agua, sino también para la conservación y mantenimiento de éstos a medida que se desgasten con el paso del tiempo. En EUA, la Agencia de Protección del Medio Ambiente estima que los sistemas locales de agua deberán invertir USD$384 mil millones en las décadas venideras para garantizar que la calidad del agua sea suficientemente buena para su consumo.

Es bien sabido que mejorar el suministro de agua, la higiene y el saneamiento de una comunidad da lugar a mejoras apreciables en la salud. Por ejemplo, la OMS ha observado que la incidencia de la diarrea puede reducirse en 26% tan sólo con el suministro de agua limpia a las personas.

Se estima que de los 35,000 a 50,000 km^3 de agua dulce disponible en todo el mundo, únicamente un tercio puede utilizarse para las necesidades

Cuadro 2. Patógenos humanos más importantes transmitidos por el agua

Agente	Enfermedad		Depósito
Viral	Rotavirus	Gastroenteritis	Humanos, animales
	Astrovirus	Gastroenteritis e infecciones respiratorias agudas	Humanos
	Norovirus	Gastroenteritis	Humanos
	Hepatitis A	Hepatitis	Humanos
	Hepatitis E	Hepatitis	Humanos, animales
	Virus Coxsackie	Gastroenteritis, infección respiratoria aguda superior, enfermedades de las manos, pies y boca, meningitis, infecciones cardíacas y neuropatía periférica	Humanos
	Enterovirus	Gastroenteritis, infección respiratoria aguda superior, enfermedades de las manos, pies y boca, infecciones cardíacas, meningitis y neuropatía periférica	Humanos
	Virus de la poliomielitis	Poliomielitis	Humanos
	Adenovirus	Gastroenteritis e infecciones respiratorias agudas	Humanos
	Echovirus	Gastroenteritis, infección respiratoria aguda, meningitis y hepatitis	Humanos
Bacteriano	*Campylobacter* spp.	Gastroenteritis	Humanos, animales
	Escherichia coli	Gastroenteritis	Humanos, animales
	Helicobacter pylori	Gastritis, cáncer gástrico	Humanos
	Legionella spp.	Pulmonía, gastroenteritis	Acuático
	Leptospira spp.	Fiebres leves con sarpullido o hemorrágicas	Acuático, suelo, animales
	Salmonella spp.	Gastroenteritis	Humanos, animales
	Shigella spp.	Gastroenteritis	
	Vibrio cholera	Gastroenteritis con diarrea acuosa	Acuático (estuarios)
	Yersinia enterocolítica	Gastroenteritis	

Protozoarios	*Criptosporidium* spp.	Diarrea crónica	Animales, humanos
	Giardia duodenalis	Dolor abdominal	Humanos, animales
	Entamoeba histolytica	Disentería, absceso hepático	Humanos
	Balantidium coli		Humanos, animales
Metazoarios	*Schistosoma* spp	Infecciones intestinales, hepáticas y urinarias	Humanos, acuático
	Dracunculus medinensis	Pápula dolorosa en la piel, gastroenteritis	Humanos, acuático, animales
Algas	*Cianobacterias*	Intoxicación	Acuático

humanas, debido al incremento de las actividades contaminantes realizadas por el hombre. Dado que el agua limpia es fundamental para la buena salud, proteger este cada vez más escaso recurso que se encuentra en peligro requerirá esfuerzos concertados por parte de los gobiernos y otros responsables políticos que administran y supervisan el uso de este valioso recurso.

Bibliografía

Aguilera-Klink, F. (1995). El agua como activo económico, social y ambiental. *El Campo* 132, 15–27.

Aguilera-Klink, F. (2001). Economía del agua: algunas cuestiones ignoradas mucho antes del Nuevo Milenio. En: Robot, L., Baldeón, J. y Villares, R. (2001). *Año 1000, Año 2000. Dos milenios en la historia de España.* Madrid: Nuevo Milenio.

Benedict KM, Reses H, Vigar M, *et al*. (2017). Surveillance for Waterborne Disease Outbreaks Associated with Drinking Water - The United States, 2013–2014. *Morb Mortal Wkly Rep (MMWR) 2017*; 66:1216–1221. DOI: http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6644a3

Bradley, D. (1977). Health aspects of water supplies in tropical countries. In: (Feachem, R.G., McGarry, M. & Mara, D.D. eds.) *Wastes and Health in Hot Climates.* Chichester, UK: John Wiley and Sons. pp. 3–17.

Cabral, JPS. (2010). Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2010;7(10):3657-3703. doi:10.3390/ijerph7103657.

Cairncross S, Muller R, Zagaria N. (2002). Dracunculiasis (Guinea Worm Disease) and the Eradication Initiative. *Clinical Microbiology Reviews.* 2002;15(2):223-246. doi:10.1128/CMR.15.2.223-246.2002.

Craun GF, Brunkard JM, Yoder JS, Roberts VA, Roy SL *et al*. (2010). Causes of Outbreaks Associated with Drinking Water in the United States from 1971 to 2006. *Clinical Microbiology Reviews.* American Society of Microbiology. July 2010, p. 507–528. DOI: 10.1128/CMR.00077-09.Vol. 23, No. 3. 0893-8512/10/$12.00doi:10.1128/CMR.00077-09 http://aquaticpath.phhp.ufl.edu/waterbiology/handouts2011/outbreaks-craun2010.pdf

Dore MH. (2015). Global Drinking Water Management and Conservation, *Springer Water,* Springer International Publishing Switzerland, DOI 10.1007/978-3-319-11032-5_2

European Environment and Health Information System (ENHIS) (2009). *Outbreaks of waterborne diseases.* Fact sheet no. 1.1, December 2009 z Code: RPG1_WatSan_E1. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/96885/1.1.-Outbreaks-of-waterborne-diseases-EDITED_layout_V03.pdf

European Union (EU) (2012). *Toxicity and assessment of chemical mixtures.* Brussels: EU.http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/environmental_risks/docs/scher_o_155.pdf

Gleick, P. H. (1996). Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International* 21(2), 83–92.

Hanna-Attisha, Mona; LaChance, Jenny; Sadler, Richard Casey; Champney Schnepp, Allison (2015). Elevated Blood Lead Levels in Children Associated with the Flint Drinking Water Crisis: A Spatial Analysis of Risk and Public Health Response. *American Journal of Public Health.* 106 (2): 283–290.

Izurieta R. (2006). *A Death Foretold in the Times of Cholera* (Presentation). Institute for the Study of Latin America and the Caribbean, University of South Florida.

Izurieta R & Yamamoto Y. (2018). Preliminary results about the prevalence of colistin resistant and ESBL producing resistant *E coli* in swine and poultry farming in Ecuador. Non-published document, March.

Larbi Bouguerra, Mohamed (2007). Las batallas por el agua. Por un bien común de la humanidad. En: *El agua y la salud,* cap. 9, pp. 170 y 172. Madrid: Editorial Popular.

Lazarus, O. *In Flint, Michigan, a crisis over lead levels in tap water.* Public Radio International. https://www.pri.org/stories/2016-01-07/flint-michigan-crisis-over-lead-levels-tap-water

Mac Kenzie WR, Hoxie NJ, Proctor ME, Gradus MS, Blair KA, Peterson DE, Kazmierczak JJ, Addiss DG, Fox KR, Rose JB, *et al*. (1994). A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water supply. *N Engl J Med.* 1994 Jul 21;331(3):161-7.

Rice AL, Sacro L, Hyder A, Black RE (2000). Malnutrition as an underlying cause of childhood deaths associated with infection diseases in developing countries. *Bulletin of the World Health Organization* 2000: 8: 1207-1221

Schwarzman M.R. & Wilson, M.P. (2009). New science for chemicals policy. *Science*, 326:1065-66.

Stephenson CB. Burden of infection on growth failure. *Journal of Nutrition* 1999: 129(2S Suppl) 534S-538S.

Sumpter J. P. & Johnson, A. C. (2005). Lessons from Endocrine Disruption and Their Application to Other Issues Concerning Trace Organics in the Aquatic Environment. *Environmental Science & Technology,* 39 (12), 4321-4332.

Tundisi J.G., O. Rocha, T. Matsumura-Tundisi, B. Braga (1998). Reservoir management in South America. *Int. J. Water Resour. Dev.,* 14 (1998), pp. 141-155, 10.1080/07900629849367

United Nations (UN) (2003). *Water and Sanitation in the World's Cities: Local Action for Global Goals.* Human Settlements Programme. London: Earthscan.

Villanueva, C.M., Cantor, K.P., Cordier, S., Jaakkola, J.J., King, W.D. Lynch, C.F. *et al*. (2004). Disinfection by products and bladder cancer: a pooled analysis. *Epidemiology*, 15:367-367.

Villanueva, C. M., Kogevinas, M., Cordier, S., Templeton, M. R., Vermuelen, R. *et al*. (2014). Assessing exposure and health consequences of chemicals in drinking water: Current state of knowledge and research needs. *Environmental Health Perspectives,* 122 (3), 213-221.

World Health Organization (WHO) (2017a). *Chemical mixtures in source water and drinking water.* Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. ISBN 978-92-4-151237-4. www.who.int/water_sanitation_health/publications/chemical-mixtures-in-water/en/

World Health Organization (WHO) (2017b). *WHO guidelines on use of medically important antimicrobials in food-producing animals.* Geneva: WHO; 2017 http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258970/9789241550130-eng.pdf;jsessionid=BCED73094DF5752A2E3DB6BB672B7F19?sequence=1

Monitoreo biológico de la calidad del agua en las Américas

Ernesto González (Venezuela) y Gabriel Roldán (Colombia)

Con frecuencia, la determinación de la calidad de las aguas se basa en la evaluación de sus características físicas (temperatura, color, turbidez, transparencia, sólidos totales disueltos, sólidos suspendidos, color), químicas (conductividad, pH, alcalinidad, acidez, dureza, oxígeno disuelto, demanda de oxígeno, concentraciones de nitrógeno y fósforo, cloruros, metales pesados, biocidas, entre otros) y microbiológicas (presencia de bacterias patógenas, virus, helmintos y protozoarios, entre otras consideraciones) (WHO, 2017). Estos parámetros son precisos, pero proporcionan información parcial y puntual. Por ello, en los últimos años el concepto de calidad del agua ha ido cambiando de un enfoque físico y químico a otro que integra todos los componentes del ecosistema (Roldán y Ramírez, 2008). De hecho, la Directiva Marco COM-97 del Parlamento Europeo ha propuesto como medida de la calidad de los ecosistemas acuáticos establecer el estado ecológico del sistema estudiado mediante el empleo de indicadores biológicos, hidromorfológicos y fisicoquímicos.

Los parámetros físicos y químicos útiles para la evaluación de la calidad del agua son determinados por la presencia de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, que pueden estar en forma suspendida o disuelta; mientras que algunos de estos compuestos son tóxicos para el ecosistema, otros constituyen nutrientes para los organismos (Eletta & Adekola, 2005).

Los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, por lo que los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y al propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva (Vázquez Silva *et al*., 2006). Por tal motivo, algunos organismos pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad (Laws, 1981). Así, un ecosistema acuático es un sistema funcional en el cual hay un intercambio cíclico de materia y energía entre los organismos vivos y el ambiente abiótico. Por lo tanto, la biología y la química están estrechamente relacionadas y, en la evaluación de las aguas naturales y contaminadas, juegan papeles complementarios.

Los niveles de impacto pueden variar de un ecosistema acuático a otro, y se ha encontrado que existen grupos de especies cuya presencia en el ecosistema depende del grado y tipo de impacto y contaminantes (Tabash, 1988). En cada región algunos organismos tienen un intervalo muy amplio de tolerancia hacia las condiciones ambientales que se presentan en el hábitat, dependiendo en gran medida del grado de contaminación en el sitio, mientras que también se pueden identificar especies que son las primeras en desaparecer con un aumento en las alteraciones causadas por las actividades humanas (Vázquez Silva *et al*., 2006), bien sea por la inadecuada calidad del agua, por la degradación del hábitat o por la

Ernesto José González Rivas ernesto.gonzalez@ciens.ucv.ve Universidad Central de Venezuela (UCV),Facultad de Ciencias, Instituto de Biología Experimental. Punto Nacional Focal del Programa de Aguas de IANAS. **Roldán-Pérez** groldan@une.net.co Miembro de Número y Director de Publicaciones, AcademiaColombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Medellín, Antioquia.

combinación de estos dos factores, por lo que debe tenerse un conocimiento adecuado de las especies intolerantes encontradas en cada región.

Para que un organismo se considere como un buen indicador de calidad del agua, debe encontrarse invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población sea un porcentaje superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte un mismo hábitat (Roldán y Ramírez, 2008). Así, se han podido identificar grupos de organismos que pueden ser utilizados como indicadores biológicos de impactos ambientales que afectan la calidad del agua de los diferentes ecosistemas, entre los que pueden citarse bacterias, perifiton, fitoplancton, macrófitas, macroinvertebrados bentónicos y peces (Vázquez Silva *et al*., 2006). La información biológica generada, a partir de estos organismos bioindicadores, no reemplaza los análisis fisicoquímicos, pero sí puede reducir costos, por lo que estos estudios son importantes en el monitoreo de la calidad del agua (Chapman, 1996).

En los países del continente americano, hay múltiples experiencias relacionadas con el uso de organismos para determinar la calidad de las aguas en las fuentes superficiales principalmente. En este capítulo, se pretende dar una visión modesta de las experiencias en el continente americano en casos relacionados con la proliferación de determinados grupos del fitoplancton en lagos y embalses, según su grado de eutrofización, y en el uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de ríos.

Eutrofización y fitoplancton

El enriquecimiento excesivo con nutrientes de las aguas superficiales, principalmente en fósforo (P) y nitrógeno (N), necesariamente conduce al cambio de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y al deterioro de la calidad del agua (Quirós, 2004). Entre los cambios estructurales producidos por la eutrofización es de destacar el dominio de la principal comunidad de productores primarios pelágicos de lagos y embalses, el fitoplancton, por parte de las cianobacterias.

Bellinger & Sigee (2010) exponen que la detección y el análisis de las algas indicadoras proveen una evaluación rápida del estado trófico y de la posible contaminación por actividades humanas de los cuerpos de agua dulce. Así, presentan cuáles serían las especies indicadoras del estado trófico a mediados del verano en los lagos templados (**Tabla 1**).

El predominio de cianobacterias en muchos lagos y embalses mesotróficos y eutróficos se explica-

Tabla 1. Especies de fitoplancton indicadoras del estado trófico en lagos templados a mediados del verano

Tipo de lago	Algas indicadoras
Oligotrófico	**Diatomeas:** *Cyclotella comensis, Rhizosolenia* spp.
	Algas verdes: *Staurodesmus* spp.
Mesotrófico	**Diatomeas:** *Tabellaria flocculosa*
	Crisofitas: *Dynobrion divergens, Mallomonas caudata*
	Algas verdes: *Sphaerocystis schroeteri, Dyctiosphaerium elegans, Cosmarium* spp., *Staurastrum* spp.
	Dinoflagelados: *Ceratium hirundinella*
	Cianobacterias: *Gomphosphaeria* spp.
Eutrófico	**Diatomeas:** *Aulacoseira* spp., *Stephanodiscus rotula*
	Algas verdes: *Eudorina* spp., *Pandorina morum, Volvox* spp.
	Cianobacterias: *Anabaena* spp., *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*
Hipereutrófico	**Diatomeas:** *Stephanodiscus hantzschii*
	Algas verdes: *Scenedesmus* spp., *Ankistrodesmus* spp., *Pediastrum* spp.
	Cianobacterias: *Aphanocapsa* spp., *Aphanothece* spp., *Synechococcus* spp.

Fuente: Modificado de Bellinger & Sigee, 2010.

Tabla 2. Distribución de algas según el estado trófico en lagos de la región occidental de Canadá

Tipo de lago	Algas indicadoras
Oligotrófico	**Diatomeas:** *Asterionella formosa, Melosira islandica, Tabellaria fenestrata, Tabellaria flocculosa, Fragilaria capucina, Stephanodiscus niagarae, Staurastrum* spp., *Melosira granulata*
	Crisofitas: *Dynobrion divergens*
Mesotrófico	**Diatomeas:** *Fragilaria crotonensis*
	Algas verdes: *Pediastrum boryanum, Pediastrum duplex*
	Dinoflagelados: *Ceratium hirundinella*
	Cianobacterias: *Coelosphaerium naegelianum, Anabaena* spp., *Aphanizomenon flos-aquae, Microcystis aeruginosa*
Eutrófico	**Cianobacterias:** *Microcystis flos-aquae*

Fuente: Modificado de Rawson, 1956.

ría por su capacidad para fijar nitrógeno molecular (en forma de gas disuelto). En ese momento el nitrógeno suele ser el nutriente limitante de la productividad primaria y las cianobacterias tendrían ventajas competitivas en esta situación (Pizzolón, 1996). La dominancia de las cianobacterias en estos lagos y embalses con altas concentraciones de nutrientes también puede ser explicada por su elevada capacidad para absorber dióxido de carbono disuelto, aún en concentraciones muy bajas. Los altos valores de pH (básicos) favorecen también el desarrollo de las cianobacterias, por su capacidad para transformar los iones bicarbonato y carbonato en dióxido de carbono; de hecho, las cianobacterias son las únicas microalgas que desarrollan biomasas importantes en ambientes naturalmente alcalinos y salinos. Otro tipo de factor implicado en su predominio, es la baja tasa de consumo por parte del zooplancton, bien sea porque son poco apetitosas, o porque interfieren mecánicamente el proceso de su consumo, o porque el zooplancton se inhibe de alimentarse cuando hay cepas tóxicas de cianobacterias en el medio.

Bellinger & Sigee (2010), exponen que desde mediados del siglo XX, entre 1945 y 1972, investigadores como Thunmark, Nygaard y Stockner desarrollaron índices de estado trófico mediante el uso de grandes grupos taxonómicos que fueron considerados típicos de condiciones oligotróficas (particularmente desmidias, un grupo de las algas verdes) o eutróficas (clorococales, cianobacterias, euglenoides). Aunque tales índices proveen información útil, ellos tienden a carecer de resolución ambiental, ya que muchas clases de algas resultan ser heterogéneas, conteniendo especies típicas de lagos tanto oligotróficos como eutróficos. El mejoramiento de los métodos de muestreo y el incremento de la resolución taxonómica permitieron posteriormente el desarrollo de índices basados en especies indicadoras separadas de los grupos taxonómicos.

En las Américas, se conocen experiencias en el uso de grupos y especies del fitoplancton para la determinación del estado trófico y calidad de las aguas superficiales. Así, en Canadá, Rawson (1956) publicó una lista de las especies dominantes indicadores del estado trófico para los lagos de la región occidental, la cual se presenta en la **Tabla 2**. Para esta lista, Rawson se basó en 25 años de observaciones.

Algunos otros ejemplos de estudios de eutrofización y dominancia de grupos del fitoplancton en las Américas se presentan en la **Tabla 3**.

Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua

Los macroinvertebrados acuáticos son todos aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a la vegetación acuática, troncos y rocas sumergidas (Roldán, 1988). Sus poblaciones están conformadas por platelmintos, insectos, moluscos y crustáceos principalmente. Se les denomina macroinvertebrados, pues se pueden observar a simple vista y cuyo tamaño va de 0,5 mm hasta alrededor de 5,0 mm. Es un hecho que la composición de las comunidades de macroinvertebrados refleja la calidad de los ecosistemas acuáticos; por ello, los

Tabla 3. Ejemplos de eutrofización y dominancia de grupos del fitoplancton en las Américas

País	Eutrofización y fitoplancton	Referencias
México	Reemplazo de las algas verdes y diatomeas por cianobacterias, particularmente *Anabaena* spp., *Microcystis aeruginosa, Oscillatoria* spp. y *Lyngbya* spp. en varios lagos eutrofizados.	Alcocer & Lugo (1995), Díaz-Pardo *et al.* (1998), Quiroz Castelán *et al.* (2004), Bravo-Inclán *et al.* (2008), Oliva Martínez *et al.* (2008), López-López *et al.* (2010), entre otros.
Guatemala	Prevalencia de cianobacterias en el Lago de Amatitlán por condiciones eutróficas.	Basterrechea (1987)
	Floraciones del complejo de especies de *Lyngbya* en el lago Atitlán, como consecuencia del cambio en el uso de la tierra y aumento en la concentración de nutrientes.	Rejmánková *et al.* (2010)
Costa Rica	Embalse Arenal, mesotrófico, presenta comunidad fitoplanctónica variada dominada por algas verdes, algunas diatomeas y la cianobacteria *Microcystis* spp.	Jones *et al.* (1993), Umaña *et al.* (1999)
Colombia	Embalses con más señales de eutrofización (El Peñol, Prado y Tominé) presentan dominancia de cianobacterias, especialmente de los géneros *Anabaena* spp. y *Oscillatoria* spp.	Roldán (2002)
Bolivia	Respuestas positivas (aumento) de las familias de cianobacterias *Oscillatoriaceae* y *Nostocaceae* al enriquecimiento con nutrientes y aumento del pH en el Lago Titicaca.	Fontúrbel & Castaño-Piña (2011)
Brasil	Floraciones de las cianobacterias *Microcystis* spp. y *Anabaena* spp. en los embalses del estado de São Paulo, caracterizados por una fuerte eutrofización de sus aguas.	Tundisi (1988)
	Dominio de las cianobacterias tóxicas, particularmente las especies *Planktothrix agardhii* (período de sequía) y *Microcystis aeruginosa* (período de lluvias) en el embalse Armando Ribeiro Gonçalves (Rio Grande do Norte).	Chellappa *et al.* (2001)
Argentina	El fósforo es el principal determinante de la biomasa fitoplanctónica en más de 100 embalses argentinos, y aumento de la frecuencia de floraciones de cianobacterias en lagos eutróficos.	Quirós (1991, 2000), Quirós *et al.* (2006)
Chile	El aumento en las concentraciones de nitrógeno y fósforo ha conllevado al aumento de la biomasa del fitoplancton y a la dominancia de las cianobacterias, generalmente con floraciones de *Anabaena* spp., *Microcystis* spp. y *Oscillatoria* spp.	Mühlhauser & Vila (1987), Parra (1989), Parra *et al.* (2003), Campos *et al.* (2005, 2007), Almanza-Marroquín *et al.* (2016)
Uruguay	El proceso de eutrofización en los embalses de gran porte (Salto Grande, Bonete, Baygorria y Palmar) ha conllevado a un intenso crecimiento del fitoplancton, registrándose la dominancia de diatomeas y cianobacterias.	Chalar & Conde (2000), De León & Chalar (2003), Chalar *et al.* (2002), Chalar (2006, 2009)
	Predominio de las cianobacterias durante todo el año y un marcado aumento en la frecuencia y duración de las floraciones de microalgas, particularmente de *Microcystis aeruginosa* en la Laguna del Sauce.	RAP-AL (2010)
Venezuela	Los embalses pueden dividirse en tres grupos. Grupo 1: embalses con bajas concentraciones de P (<20µg/L) y dominados por algas verdes. Grupos 2 y 3: embalses con concentraciones moderadas a altas de P (>20µg/L). En el grupo 2 hay bajo cociente de nitratos/amonio, con altos tiempos de residencia de sus aguas y dominancia de cianobacterias, mientras que en el grupo 3 hay mayor cociente nitratos/amonio, tiempos cortos de residencia de sus aguas y el fitoplancton está dominado por taxa diferentes a las cianobacterias.	González & Quirós (2011)

métodos de evaluación basados en dichos organismos han sido ampliamente utilizados desde hace varias décadas como una parte integral del monitoreo de la calidad del agua. Los países de la Unión Europea y Norteamérica han sido los líderes en este proceso (Gaufin & Tarzwell, 1952; Hynes, 1959; Resh *et al.*, 1995). Los estudios basados en esta metodología han permitido un conocimiento del estado ecológico de sus ríos y lagos, lo cual les sirvió de base para elaborar planes para una sorprendente recuperación de éstos en los últimos 20 años.

Basados en el conocimiento que se tenga de la fauna acuática en cada país, dicha evaluación podrá hacerse en diferentes niveles de precisión. Así, por ejemplo, Alemania que ha tenido una tradición más larga en el conocimiento de su flora y fauna acuáticas, ha adoptado el método saprobio, el cual requiere para su aplicación la identificación de los organismos hasta el nivel de especie. Otros países, como Bélgica, Francia, Gran Bretaña, Italia, Portugal, Dinamarca, Holanda e Irlanda, han adoptado sistemas de evaluación basados en el nivel de órdenes, familias y en algunos casos de géneros. Para la llamada "evaluación rápida del ecosistema", se ha comprobado su efectividad en un alto porcentaje, además de una considerable reducción de costos y de tiempo (De Pauw & Hawkes, 1993; Roldán, 2003).

Estado actual del conocimiento sobre los macroinvertebrados acuáticos en las Américas

La utilización de los organismos acuáticos como bioindicadores de la calidad de los ecosistemas acuáticos comienza en las Américas a mediados del siglo XX. Patrick (1949, 1950) desarrolla métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de las corrientes en Norteamérica y Gaufin & Tarzwell (1952) proponen los macroinvertebrados como indicadores de contaminación, mientras que Hynes (1959, 1963) propone los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Resh *et al.* (1995) desarrollaron en Maryland (EUA) métodos rápidos de evaluación de la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores, valorando las condiciones del hábitat y prediciendo la fauna esperada en un determinado sitio.

En la **Tabla 4** se presentan ejemplos de la aplicación de la bioindicación en América Latina, partiendo de los trabajos pioneros en Colombia.

Empleo de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua

Los macroinvertebrados acuáticos se consideran como los mejores indicadores de calidad del agua porque son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar; son sedentarios en su mayoría y, por tanto, reflejan las condiciones de su hábitat; son relativamente fáciles de identificar, representan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo, proporcionan información para integrar efectos acumulativos, poseen ciclos de vida largos (semanas y/o meses), se reconocen a simple vista, pueden cultivarse en el laboratorio, responden rápidamente a los tensores ambientales y varían poco genéticamente (Roldán, 1999, 2003). Además, las comunidades de macroinvertebrados presentan diferentes respuestas a la contaminación. Así, Metcalf (1989), distingue tres enfoques principales para evaluar la respuesta de las comunidades de macroinvertebrados a la contaminación. Éstos son: el sapróbico, la diversidad y el biótico.

- **El enfoque sapróbico.** El término saprobio, para referirse a la capacidad que tenían ciertos organismos de vivir en determinados niveles de contaminación, fue designado en Alemania por Kolkwitz & Marsson (1908, 1909). Definieron tres niveles de saprobiedad: a) zona polisapróbica, predominantemente de procesos reductivos, b) zona mesosapróbica, parcialmente reductiva con procesos predominantemente oxidativos, y c) zona oligosapróbica, exclusivamente procesos oxidativos.
- **El enfoque de la diversidad.** Incluye tres componentes fundamentales de las comunidades naturales: riqueza, uniformidad y abundancia, para describir la respuesta de la comunidad a la calidad ambiental. Una comunidad natural se caracteriza por presentar una gran diversidad de especies y un bajo número de individuos por especie, o un bajo número de especies y muchos individuos por especie. Esta situación se observa en la naturaleza en lugares como en

Tabla 4. Ejemplos de trabajos sobre macroinvertebrados acuáticos y bioindicación en América Latina

País	Trabajos sobre macroinvertebrados acuáticos y bioindicación	Referencias
Colombia	Inicio de la bioindicación en América Latina. Los primeros trabajos se basan en claves desarrolladas por investigadores de EUA y Europa.	Roldán *et al.* (1973); Pérez & Roldán (1978)
	Publicación de la *Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia*, que sirvió de base para el inicio del conocimiento de las comunidades de macroinvertebrados en América Latina.	Roldán (1988)
América Central	Publicación del libro *La diversidad, la conservación y el uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, América Central, Colombia, Cuba y Puerto Rico.*	Alonso *et al.* (2014)
El Salvador	Publicación de serie completa de trabajos sobre macroinvertebrados.	Sermeño Chicas *et al.* (2010)
Costa Rica	Publicación de la primera clave de macroinvertebrados.	Springer *et al.* (2010)
Nicaragua	Publicación de guía de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en el río Gil González y tributarios más importantes.	Salvatierra (2012)
Guatemala	Publicación del estado de los macroinvertebrados acuáticos	Reyes (2013)
Honduras	Publicación de clave para la identificación de los macroinvertebrados de agua dulce	García & Jiménez (2006)
República Dominicana	Presentación del informe del muestreo final de macroinvertebrados de la región de Ébano Verde	Pérez (2015)
Ecuador	Propuesta de un protocolo de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas del Ecuador y Perú	Acosta *et al.* (2009)
Perú	Publicación de estudios con macroinvertebrados en Cajamarca y Amazonas	Paredes *et al.* (2004)
Paraguay	Caracterización de servicios ecosistémicos de humedales, tomando en cuenta los macroinvertebrados acuáticos.	Espinosa *et al.* (2012)
Panamá	Publicación de la guía *Diagnóstico de la contaminación en afluentes superficiales de Panamá empleando macroinvertebrados dulceacuícolas.*	Cornejo *et al.* (2017)
Puerto Rico	Aplicación de la metodología para evaluar la calidad del agua usando el BMWP-Cub	Gutiérrez-Fonseca *et al.* (2013)
Argentina	Publicación de libro sobre macroinvertebrados bentónicos de Sudamérica.	Domínguez & Fernández (2009)
	Publicación de guía de macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua.	Rocha (2004)
Venezuela	Experiencias varias en el uso de macroinvertebrados para determinar la calidad del agua y generar índices de integridad biótica de ríos de diferentes regiones del país	Rincón (1995), Rivera & Marrero (1995), Segnini (2003), Segnini *et al.* (2009), Echevarría & Marrero (2012), Barrios *et al.* (2015), entre otros
Bolivia	Publicación de guía técnica de evaluación de las condiciones de cuerpos de agua utilizando macroinvertebrados acuáticos.	Valencia (2014)
Brasil	Publicación de libro sobre la ecología de los insectos acuáticos.	Nessimian y Carvalho (1998)
Chile	Estudio de los macroinvertebrados acuáticos de la cuenca del Limari.	Carvacho (2012)
Uruguay	Publicación de estudio sobre los macroivertebrados acuáticos en vegetación ribereña.	Morelli & Verdi (2014)

las grandes profundidades de los lagos y el mar, grandes alturas en las montañas y en temperaturas extremas. La contaminación del agua provoca una situación similar, haciendo que ciertas comunidades muy sensibles desaparezcan y otras más resistentes aumenten en número.

- **El enfoque biótico.** Incluye los aspectos esenciales de la saprobiedad, combinando una medida cuantitativa de diversidad de especies con la información cualitativa sobre la sensibilidad ecológica de taxones de individuos en una expresión numérica simple. Beck (1955) propuso el índice biótico en los EUA basado en la relación entre especies intolerantes y tolerantes a la contaminación; los valores se encuentran entre 0 y 10.

El método BMWP

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que se requiere invertir. El método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerencia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1,0 (Armitage *et al.*, 1983). La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.

La bioindicación en Colombia se remonta a los años 70 con los trabajos en el Medellín (Roldán *et al*., 1973), representando así las primeras experiencias en Latinoamérica. Posteriormente, Matthias y Moreno (1983) realizaron un estudio fisicoquímico y biológico del mismo río, utilizando los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Bohórquez y Acuña (1984) realizaron los primeros estudios para la sabana de Bogotá. Zúñiga *et al.* (1993) hicieron una adaptación de este método para algunas cuencas del Valle del Cauca. Reinoso (1999) y Reinoso *et al.* (2008) realizaron un estudio del río Combeima en el Departamento del Tolima. Zamora (2000) hizo una adaptación del índice BMWP para la evaluación de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. Roldán (2001) aplica esta metodología para la cuenca de Piedras Blancas en el Departamento de Antioquia. Riss *et al.* (2002) establecen valores de biondicación para la Sabana de Bogotá. Roldán (2003) adapta el sistema del BMWP para evaluar la calidad del agua en Colombia mediante el uso de los macroinvertebrados acuáticos. Con base en el conocimiento que actualmente se tiene en Colombia sobre los diferentes grupos de macroinvertebrados hasta el nivel de familia, propone utilizar el método BMWP/Col, como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña. La **Tabla 5** presenta las familias y su valoración de acuerdo con su grado de adaptación a las diferentes calidades de agua. Cada región, tanto en Colombia como en Latinoamérica, han hecho sus propias valoraciones de puntajes de acuerdo con sus experiencias (Zamora & Sarria, 2001; Zamora, 2002; Sánchez-Herrera, 2005; Zúñiga, 2009; Springer *et al.*, 2010).

La información disponible en Latinoamérica sobre la taxonomía, la ecología y la bioindicación de la calidad del agua no es similar en todos los grupos de macroinvertebrados. Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera cuentan con más información que los demás taxones. Es importante además, profundizar en el estudio de los anélidos, los moluscos y los dípteros, especialmente de la familia Chironomidae. Es necesario avanzar en la asociación de los estados inmaduros y sus correspondientes formas aladas, así como entre machos y hembras, con el fin de lograr una determinación taxonómica rigurosa. Es importante definir una metodología unificada para el estudio de los ecosistemas lénticos y los grandes ríos.

Las formas inmaduras de la entomofauna tienen un buen potencial como bioindicadoras, además de ser una comunidad diversa, abundante y de amplia distribución altitudinal en los ecosistemas hídricos. Por ejemplo, en Colombia, el género *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae), fue uno de los grupos de mayor sensibilidad a la degradación del hábitat y el enriquecimiento de la carga orgánica residual (Roldán, 2003; Zúñiga, 2010). Entre los géneros de Ephemeroptera más sensibles se encuentran *Lachlania* (Ologineuriidae), *Haplohyphes* (Leptohyphidae), *Mayobaetis*, *Andesiops* (Baetidae) *Atopophlebia* y

Tabla 5. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolicopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.	2
Tubificidae	1

Fuente: Roldán, 2003.

Thraulodes (Leptophlebiidae), mientras que *Camelobaetidius*, *Baetodes* (Baetidae), *Leptohyphes* y *Tricorythodes* (Leptohyphidae) son de amplio espectro ambiental (Zamora, 1996; Zúñiga *et al*., 1997; Roldán, 2003; Zúñiga & Cardona, 2009). Los géneros más sensibles del orden Trichoptera son *Triplectides* (Leptoceridae), *Rhyacopsyche* (Hydroptiliidae), *Chimara* (Philopotamidae), *Marilia* (Odontoceridae) y *Phylloicus* (Calamoceratidae). Los géneros *Leptonema* (Hydropsychidae) y *Atanatolica* (Leptoceridae) tienen un ámbito amplio, con adaptaciones a los ecosistemas con degradación incipiente (Zúñiga *et al*., 1993; Zamora, 1996; Ballesteros *et al*., 1997; Roldán, 2003; Guevara *et al*., 2007a, b; Zúñiga & Cardona 2009; Forero *et al*., 2013; Forero & Reinoso, 2013; Vásquez-Ramos *et al*., 2013; 2014).

Estandarización de protocolos de trabajo

En Latinoamérica, es necesario trabajar en la estandarización de protocolos de muestreo, con énfasis en los grandes ríos y los cuerpos de agua lénticos, como los humedales o los grandes lagos. Esta homogeneización de protocolos de trabajo de campo, el recuento de los organismos, el análisis de laboratorio y el uso de los índices, son imprescindibles para conseguir los resultados y bases de datos consistentes y comparables (Roldán *et al.,* 2014). En este sentido, Rueda-Delgado (2002) publicó en Colombia el *Manual de Métodos en Limnología*, en donde compiló la información general sobre los diferentes métodos de estudio para la biota de mayor importancia en los ambientes acuáticos. Actualmente el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) está desarrollando una metodología de evaluación de la calidad del agua para Colombia mediante la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores.

Uno de los problemas en la utilización de la bioindicación de la calidad del agua es el uso indiscriminado de los índices bióticos, tanto en ecosistemas de aguas lóticas como lénticas. Estos ecosistemas tienen características hidrológicas y ecológicas diferentes y una biota adaptada a las condiciones particulares de cada uno de estos ambientes. El índice BMWP es muy popular y, aunque existen algunas adaptaciones de este parámetro biológico a

nivel regional, para la validez de su aplicación es importante tener en cuenta la clase de los cuerpos de agua donde se utiliza (Zúñiga *et al*., 1993; Zamora, 2000, Roldán, 2003).

Consideraciones finales

La determinación de la calidad de las aguas bien puede integrar a los indicadores fisicoquímicos tradicionales, la información correspondiente a los componentes bióticos de los ecosistemas, lo cual brinda una visión más holística de la respuesta a los impactos sobre ellos.

Tal como ha podido apreciarse, en el caso de la eutrofización, al igual que en numerosos trabajos en las zonas templadas, en las Américas también se ha registrado que el aumento en las concentraciones de nutrientes, principalmente de fósforo, conlleva a una mayor biomasa del fitoplancton y a la dominancia de las cianobacterias. Igualmente, en la mayoría de los casos, las especies de cianobacterias dominantes corresponden a los géneros *Microcystis* spp., *Anabaena* spp. y *Planktothrix* spp., con el riesgo de que muchas de sus especies presentan cepas tóxicas, las cuales las convierten en riesgos potenciales para la salud, particularmente si los cuerpos de agua se emplean para el abastecimiento humano.

En el caso del uso de macroinvertebrados acuáticos para la bioindicación, la información sobre la taxonomía y la ecología de algunos de los grupos entomológicos de mayor diversidad, abundancia y biomasa es aún deficiente. Esta situación se presenta para los órdenes Diptera, Odonata y Hemiptera, taxones que podrían suministrar información valiosa desde el punto de vista de la bioindicación, especialmente para los ambientes lénticos, en donde su abundancia y diversidad, en general, es mayor que la que se presenta en los ecosistemas de las aguas corrientes. Por su parte, los moluscos y los anélidos, cuya abundancia y biomasa es muy alta en ambientes contaminados y enriquecidos con materia orgánica, carecen de una información taxonómica más detallada, lo lleva a generalizaciones e interpretaciones erradas acerca de su potencial como biondicadores de la calidad del agua.

Referencias bibliográficas

Acosta, R.; Ríos, B.; Rieradevall, M. y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas del Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1): 35-64.

Alcocer, D.J. & Lugo, A. (1995). The urban lakes of Mexico City (Lago Viejo de Chapultepec). *Lakeline*, 15(2): 14–31.

Almanza-Marroquín, V.; Figueroa, R.; Parra, O.; Fernández, X.; Baeza, C.; Yáñez, J. y Urrutia, R. (2016). Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 44(2): 313-326.

Alonso-Eguíalis, P.; Mora, J.M. Campbel. B y Springer, M. (Eds.) (2014). *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico*. México: IMTA.

Armitage, P.D.; Moss, D. & Furse, M.T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpollute running-water sites. *Water Res*., 17: 33-347.

Barrios, M.C.; Rodríguez-Olarte, D.; García Silva, E. (2015). Índice de integridad de los ecosistemas fluviales con base a las comunidades de insectos acuáticos en el río Misoa de la cuenca del lago de Maracaibo, Venezuela. *Entomotrópica*, 30: 69-83.

Basterrechea, M. (1987). Enfoque global del lago de Amatitlán y su cuenca. En: *Estudios recientes sobre la contaminación del Lago de Amatitlán.* Ciudad de Guatemala: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 9-31

Ballesteros, Y.V.; Zúñiga, M. del C. & Rojas, A.M. (1997). Distribution and structure of the order Trichoptera in various drainages of the Cauca River basin, Colombia, and their relationships to water quality. En: R.W. Holzenthal, & O. Flint (eds.). *Proceedings of the 8th International Symposium on Trichoptera, 1995.* Columbus, Ohio, USA: Ohio Biological Survey, 19-23.

Beck, W. M. (1955). Suggested method for reporting biota data. *Sewage Ind. Wastes,* 27: 1193-1197.

Bellinger, E.G. & Sigee, D.C. (2010). *Freshwater algae. Identification and use as bioindicators.* Chichester: Wiley-Blackwell. 271 pp.

Bohórquez, A. y Acuña, A. (1984). *Inventario de las morfofamilias de las clases Gasterópoda y Clitelata como bioindicadores limnológicos de la laguna de La Herrera.* Memorias XIX Congreso Nacional y III Grancolombiano de Ciencias Biológicas. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 70 pp.

Bravo-Inclán, L.A.; Saldaña-Fabela, M.P. & Sánchez-Chávez, J.J. (2008). Long-term eutrophication diagnosis of a high altitude body of water, Zimapan Reservoir, Mexico. *Water Science & Technology,* 57(11): 1843-1849.

Campos, V.; Lisperguer, S.; Weckesser, J.; Vera, A. y Muñoz, D. (2005). Cianobacterias y riesgos potenciales de toxicidad en aguas continentales de Chile. *Boletín Micológico,* 20: 73-81.

Campos, V.; Muñoz, D.; Straube, M.; Lisperguer, S. y Weckesser, J. (2007). Péptidos tóxicos y no tóxicos de cianobacterias en cuerpos de agua dulce de La V Región, Chile. *Boletín Micológico,* 22: 95-100.

Carvacho, C. (2012). *Estudio de las comunidades de maroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari, Chile.* Tesis de maestría. Universidad de Barcelona. Barcelona 70 pp.

Chalar, G. (2006). Dinámica de la eutrofización a diferentes escalas temporales: Embalse Salto Grande (Argentina-Uruguay). En: J.G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi & Corina Sidagis Galli (eds.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle.* Instituto Internacional de Ecologia, Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, Academia Brasileira de Ciências, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, InterAcademy Panel on International Issues, InterAmerican Network of Academies of Sciences. São Carlos: 87-101.

Chalar, G. (2009). The use of phytoplankton patterns of diversity for algal bloom management. *Limnologica*, 39: 200-208.

Chalar, G. y Conde, D. (2000). Antecedentes y estado actual del conocimiento científico de los embalses del Uruguay. En: A. Fernández-Cirelli (ed.).

El Agua en Iberoamérica: Acuíferos, lagos y embalses. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Subprograma XVII. Aprovechamiento de Recursos Hídricos. Buenos Aires: 145-147.

Chalar, G.; De León, L.; Brugnoli, E.; Clemente, J. y Paradiso, M. (2002). Antecedentes y nuevos aportes al conocimiento de la estructura y dinámica del embalse Salto Grande. En: A. Fernández-Cirelli y G. Chalar-Marquisá (Eds.). *El agua en Iberoamérica. De la Limnología a la Gestión en Sudamérica.* Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED XVII. Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos; Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua; Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires: 123-141.

Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring.* London: Chapman Hill. 626 pp.

Chellappa, N.T.; Camara, F.R.A. & Rocha, O. (2009). Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir and Pataxó Channel, Rio Grande do Norte, Brazil. *Brazilian Journal of Biology,* 69(2): 241-251.

Cornejo, A.; López-López, E.; Ruiz-Picos, R.A.; Sedeño Díaz, J.E.; Armitage, B.; Arefina, T.; Nieto, C.; Tuñón, A.; Molinar, M.; Ábrego, T.; Pérez, E.; Tuñón Rivas, A.R.; Magué, J.; Rodríguez, A.L.; Pineda, J.E.; Cubilla Higuera, J.J. y Ávila Quintero, I.M. (2017). *Diagnóstico de la Condición Ambiental de los Afluentes Superficiales de Panamá.* Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud. Panamá: Ministerio de Ambiente. 326 pp.

De León, L. y Chalar, G. (2003). Abundancia y diversidad del fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina-Uruguay). Ciclo estacional y distribución espacial. *Limnetica*, 22(1-2): 103-113.

De Pauw, N & Hawkes, H.A. (1993). Biological monitoring of water quality. En: *River quality monitoring and control.* W.J. Walley & S. Judd (Eds.). UK: Aston University. 249 pp.

Díaz-Pardo, E., Vázquez, G. & López-López, E. (1998). The phytoplankton community as a bioindicator of health conditions of Atezca Lake, México. *Aquatic Ecosystem Health and Management,* 1: 257-266.

Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds.) (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología.* San Miguel de Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo. 656 pp.

Echevarría, G. y Marrero, C. (2012). Determinación del estado ecológico del río Guanare, estado Portuguesa, Venezuela, utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores. *Acta Biol. Venez.*, 32(1): 29-55.

Eletta, O.A.A. & Adekola, F.A. (2005). Studies of the physical and chemical properties of Asa River water, Kwara State, Nigeria. *Science Focus,* 10(1): 72-76.

Espinoza, A.; Villalba-Forcadell, C.V. e Ibarra, J.E. (2012). Caracterización de servicios ecosistémicos de humedales: regulación de la calidad de agua en el humedal del rio salado, Paraguay. *Boletín de la Red Iberoamericana y del Caribe de Restauración Ecológica,* 6(1): 3-4.

Fontúrbel, F.E. & Castaño-Villa, G.J. (2011). Relationships between nutrient enrichment and the phytoplankton community at an Andean oligotrophic lake: a multivariate assessment. *Ecología Aplicada,* 10(2): 75-81.

Forero, C.A.M.; Gutiérrez, C. y Reinoso, F.G. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima-Colombia) a través de la fauna de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Rev. Caldasia,* 35(2): 371-387.

Forero, C.A.M y Reinoso, F.G. (2013). Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado- Tolima. *Rev. Asoc. Col. Cienc.* (Col.), 25: 12-21.

García, L.A y Jiménez, F. (2006). Efectos del bosque ribereño y de las actividades antrópicas en las características físico-químicas y en poblaciones de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente,* 48: 35-46.

Gaufin, A.R. & Tarzwell, C.M. (1952). Aquatic invertebrates as indicators of stream Pollution. *Amer. Publ. Health Rep.*, 67(1): 57-64.

González, E.J. & Quirós, R. (2011). Eutrophication of reservoirs in Venezuela: Relationships between nitrogen, phosphorus and phytoplankton biomass. *Oecologia Australis,* 15(3): 458-475.

Guevara-Cardona, G.; Reinoso-Flórez, G. & Villa-Navarro, N.F. (2007a). Caddisfly larvae (Insecta: Trichcotera) of the Coello River Basin in Tolima (Colombia): Spatial and temporal patterns and bioecological aspects. En: J. Bueno-Soria, R. Barba-Álvarez & B. Armitage (eds.). *Proceeding of the XIIth International Symposium on Trichoptera.* The Caddis Press: 113-120.

Guevara-Cardona, G.; López-Delgado, E.O.; Reinoso-Flórez, G. & Villa-Navarro, N.F. (2007b). Structure and distribution of the Trichoptera fauna in a Colombian Andean river basin (Prado, Tolima) and their relationship to water quality. En: J. Bueno-Soria, R. Barba-Álvarez & B. Armitage (eds.). *Proceeding of the XIIth International Symposium on Trichoptera.* The Caddis Press: 129-134.

Gutiérrez-Fonseca, P.E.; Rosas, K.G. & Ramírez, A. (2013). Aquatic insects of Puerto Rico: a list of families. *Dugesiana*, 20(2): 215–219.

Hynes, H.B.N. (1959). The use of invertebrates as indicators of river pollution. *Proc. Linnean. Soc. London,* 170(2): 165-170.

Hynes, H.B.N. (1963). *The biology of polluted water.* UK: Liverpool University Press, 202 pp.

Jones, J.R.; Lohman, K. & Umaña, G. (1993). Water chemistry and trophic state of eight in Costa Rica. *Verh. Internat. Verein. Limnol.,* 25(2): 899-905.

Kolkwitz, R. & Marsson, W.A. (1909). Ökologie der tierischen Saprobien. Beitäge zür Lehre von der biologische Gewäserbeuteilung. *Internationale Reveu der gesamten Hydrobiologie,* 2: 126-152.

Kolkwitz, R. & Marsson, W.A. (1908). Ecology of plant saprobia. *Verh. Ges. Oekol.*, 26: 505-516.

Laws, A.E. (1981). *Aquatic Pollution.* USA: Wiley Interscience Publication. 482 pp.

López-López, E.; Sedeño-Díaz, J.E.; Ortiz-Ordóñez, E.; Rosas Colmenárez, M. & Abeja Pineda, O. 2010. Health condition assessment in Lake Xochimilco (Mexico). *Rom. J. Biol.-Zool.,* 55(1): 69-80.

Matthias, U. y Moreno, H. (1983). Estudio de algunos parámetros físicoquímicos y biológicos del río Medellín y sus principales afluentes. *Actualidades Biológicas* 12(46): 106-117.

Metcalf, J.L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Environ. Pollut.*, 60: 101-139.

Morelli, E. y Verdi, A. (2014). Diversidad de los macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua con vegetación ribereña de Uruguay. *Revista Mexicana de Biodiversidad,* 85(4): 1160-1170.

Mühlhauser, H.A. y Vila, I. (1987). Eutrofización, impacto en un ecosistema acuático montañoso. *Arch. Biol. Med. Exp.*, 20: 117-124.

Nessimian, J.L & Carvalho, A.H. (Eds.) (1998). *Ecologia de insectos aquâticos do Brasil.* Programa de Posgrado de Ecologia. Rio de Janeiro: Universidad Federal de Rio de Janeiro. 309 pp.

Oliva Martínez, M.G.; Rodríguez Rocha, A.; Lugo Vázquez, A. y Sánchez Rodríguez, M.R. (2008). Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiologica*, 18 (S1): 1-13.

Paredes, C.; Iannacone, J. y Alvariño, L. (2004). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos ríos de Cajamarca y Amazonas, Perú. *Rev. Per. Ent.,* 44: 107-118.

Parra, O. (1989). La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio. *Amb. y Des.*, 5(1): 117-136.

Parra, O.; Valdovinos, C.; Urrutia, R.; Cisternas, M.; Habit, E. y Mardones, M. (2003). Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. *Limnetica*, 22(1-2): 51-83.

Patrick,R.(1949). A proposed biological measure of stream conditions based on a survey of Conestoga Basin, Lancaster County, Pennsylvania. *Proc. Acad. Nat. Sci.* Philadelphia, 101: 277-341.

Patrick, R. (1950). Biological measure of stream conditions. *Sewage Ind. Wastes,* 22: 926-939.

Pérez, D. (2015). Entomofauna de Ébano Verde, Cordillera Central, República Dominicana. *Novitates Caribea,* 8: 61-81.

Pérez, G. y Roldán, G. (1978). Niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bénticas del Río Rionegro (Antioquia). *Actualidades Biológicas,* 7(24): 27-36.

Pizzolón, L. (1996). Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales. *Interciencia*, 21(6): 239-245.

Quirós, R. (1991). Empirical relationships between nutrients, phyto and zooplankton and relative

fish biomass in lakes and reservoirs of Argentina. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24: 1198-1206.

Quirós, R. (2000). La eutrofización de las aguas continentales en Argentina. En: A. Fernández-Cirelli (ed.). *El Agua en Iberoamérica: Acuíferos, lagos y embalses.* Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Subprograma XVII. Aprovechamiento de Recursos Hídricos. Buenos Aires: 43-47.

Quirós, R. (2004). *Cianobacterias en lagos y embalses de Argentina: década de los 80. Serie de documentos de trabajo del área de Sistemas de Producción Acuática.* Documento N° 2. Departamento de Producción. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 23 pp.

Quirós, R.; Boveri, M.B.; Petracchi, C.A.; Rennella, A.M.; Rosso, J.J.; Sosnovsky, A. y von Bernard, H.T. (2006). Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas. En: J.G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi & Corina Sidagis Galli (eds.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle.* Instituto Internacional de Ecologia, Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, Academia Brasileira de Ciências, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, InterAcademy Panel on International Issues, InterAmerican Network of Academies of Sciences. São Carlos: 1-16.

Quiroz Castelán, H.; Mora Zúñiga, L.M.; Molina Astudillo, I. y García Rodríguez, J. (2004). Variación de los organismos fitoplanctónicos y la calidad del agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México. *Acta Universitaria,* 14(1): 47-58.

RAP-AL Uruguay (2010). *Contaminación y eutrofización del agua. Impactos del modelo de agricultura industrial.* Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL). Montevideo: RAP-AL. 36 pp.

Rawson, D.S. (1956). Algal indicators of trophic lakes types. *Limnology and Oceanography,* 1(1): 18-25.

Reinoso, G. (1999). Estudio de la fauna béntica del río Combeima, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas,* 11: 35-44.

Reinoso, G.; Guevara, G.; Vejarano, M.; García, J. y Villa, F. (2008). Evaluación del río Prado a partir de los macroinvertebrados y de la calidad del agua. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas,* 20(1): 102-116.

Rejmánková, E.; Komárek, J.; Dix, M.; Komárková, J. & Girón, N. 2011. Cyanobacterial blooms in Lake Atitlán, Guatemala. *Limnologica*, 41: 296-302.

Resh, V.H.; Richard, H.N. &. Barbour, M.T. (1995). Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using macroinvertebrates. *Aust. J. Ecology,* 20: 108-121.

Reyes, F. (2013). Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la Región Maya. Guatemala. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia,* 23(1): 7-16.

Rincón, J. (1995). Evaluación preliminar de la calidad de las aguas del río Mucujún (estado Mérida) utilizando los macroinvertebrados bénticos. *Investigaciones Científicas,* 1(1): 33-46.

Riss, W.; Ospina, R. & Gutiérrez, J.D. (2002). Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebertados acuáticos de la Sabana de Bogotá. *Caldasia*, 24(1): 135-156.

Rivera, M. y Marrero, C. (1995). Determinación de la calidad de las aguas en las cuencas hidrográficas mediante la utilización del Índice de Integridad Biótica (IIB). *Biollania* 11: 127-148.

Rocha, Z. (2004). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de aguas. *Cultura Científica*, 2: 34-40.

Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* Fondo FEN-Colombia-Conciencias-Universidad de Antioquia. Santafé de Bogotá: Editorial Presencia Ltda.

Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales,* 23(88): 375-387.

Roldán, G. (2001). *Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas.* Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras N° 9.

Roldán, G. (2002). Limnología y eutrofización de embalses en Colombia. En: A. Fernández-Cirelli y G. Chalar-Marquisá (Eds.). *El agua en Iberoamérica. De la Limnología a la Gestión en Sudamérica.* Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED XVII. Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos; Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua; Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires: 107-122.

Roldán, G. (2003). *La bioindicación de la calidad del agua en Colombia.* Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 170 pp.

Roldán, G.; Builes, J.J.; Trujillo, C.M. y Suárez, A. (1973). Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. *Actualidades Biológicas,* 2(5): 54-64.

Roldán, G. y Ramírez, J.J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical.* 2ª edición. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 440 pp.

Roldán, G.; Zúñiga, M. del C.; Zamora, H.; Álvarez, L.F.; Reinoso, G. y Longo, M. (2014). Capítulo de Colombia. En: P. Alonso-Eguíalis, J.M. Mora, B. Campbell y M. Springer (Eds.). *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico.* México: IMTA.

Rueda-Delgado, G. (Ed.) (2002). *Manual de Métodos en Limnología.* Asociación Colombiana de Limnología. Santafé de Bogotá: Pen Clips Publicidad y Diseño Ltda.

Salvatierra, T. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en el rio Gil González y tributarios más importantes en Nicaragua. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN) ENITEL. *Revista Universidad y Ciencia,* 6(9): 38-46.

Sánchez-Herrera, M.J. (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita, Norte de Santanter. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas,* 3(2): 54-67.

Segnini, S. (2003). El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotrópicos* 16(2): 45-63.

Segnini, S.; Correa, I. y Chacón, M. (2009). Evaluación de la calidad del agua en ríos de los Andes Venezolanos usando el índice biótico BMWP. En: *Enfoques y temáticas en entomología.* Arrivilllaga, A., M. El Souki y B. Herrera (eds.). XXI Congreso Venezolano de Entomología. Maracaibo: Sociedad Venezolana de Entomología, 40 pp.

Sermeño Chicas, J.M.; Serrano Cervantes, L.; Springer, M.; Paniagua Cienfuegos, M.R.; Pérez, D.; Rivas Flores, A.W.; Menjivar Rosa, R.A.; Bonilla de Torres, D.L.; Carranza Estrada, F.A.; Flores Tensos, J.M.; González, C.; Gutiérrez Fonseca, P.E.; Hernández Martínez, M.A.; Monterrosa Urías, A.J. y Arias de Linares, A.Y. (2010). Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). En: *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador utilizando insectos acuáticos.* Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA). San Salvador: SINAI Editores e Impresores, S.A. de C.V. 43 pp.

Springer, M.; Ramírez, A. y Hanson, P. (2010). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical,* 58 (Supl. 4): 97-136.

Tabash, F.A. (1988). Utilización de indicadores biológicos para el diagnóstico del estado de contaminación de las aguas lóticas. *Uniciencia*, 5(1-2): 87-89.

Tundisi, J.G. (1988). Management of reservoirs in Brazil. En: *Guidelines of Lake Management.* Vol. 1. Principles of Lake Management. S.E. Jorgensen & R.A. Vollenweider (eds.). International Lake Environment Committee (ILEC) & United Nations Environment Programme (UNEP). Shiga: 155-169.

Umaña, G.; Haberyan, K.A. & Horn, S.P. (1999). Limnology in Costa Rica. En: R.G. Wetzel & B. Gopal (eds.). *Limnology in Developing Countries 2.* International Association of Theoretical and Applied Limnology (SIL). International Scientific Publications. New Delhi: 33-62.

Valencia, E. (2014). *Evaluación de las condiciones biológicas de los cuerpos de agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos.* La Paz, Bolivia: Ministerio del Medio Ambiente y Aguas.

Vásquez-Ramos, J.M.; Guevara-Cardona, G. y Reinoso-Flórez, G. (2013). Impactos de la urbanización y agricultura en cuencas con bosque seco tropical: Influencia sobre la composición y estructura de larvas de tricópteros. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas,* 25: 61-70.

Vásquez-Ramos, J.M.; Guevara, G. y Reinoso-Flórez, G. (2014). Factores ambientales asociados con la preferencia de hábitat de larvas de tricópteros en cuencas con bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista de Biología Tropical,* 62: 21-40.

Vázquez Silva, G.; Castro Mejía, G.; González Mora, I.; Pérez Rodríguez, R. y Castro Barrera, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS 60*: 41-48.

World Health Organization (WHO) (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum.* Ginebra: WHO. 541 pp.

Zamora, H. (1996). Aspectos bioecológicos de las comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas en el Departamento del Cauca. *Unicauca Ciencia,* 1: 1-11.

Zamora, H. (2000). Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Unicauca Ciencia,* 4: 47-59.

Zamora, H. (2002). Análisis biogeográfico de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE) en el Departamento del Cauca, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas,* 14(1): 37-64.

Zamora, H. y Sarria, H. (2001). Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon-Weaver y BMWP. *Unicauca Ciencia,* 6: 21-42.

Zúñiga, M. del C. (2009). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental: Caso del Río Meléndez (Valle del Cauca, Colombia). En: J. Cantera, Y. Carvajal y L. Castro (Compiladores). *Caudal ambiental: Conceptos Experiencias y Desafíos.* Programa Editorial de la Universidad del Valle, Cali, Colombia: 303-310.

Zúñiga, M. del C. (2010). Diversidad, distribución y ecología del orden Plecoptera (Insecta) en Colombia, con énfasis en *Anacroneuria* (Perlidae). Universidad de la Amazonía. *Momentos de Ciencia,* 7(2): 101-112.

Zúñiga, M. del C. & Cardona, W. (2009). Water quality and environmental flow bioindicators. En: *Environmental Flow: Concepts, Experiences and Challenges.* Cali, Colombia: Del Valle University. pp. 167-198.

Zúñiga, M. del C.; Rojas, A.M. y Caicedo, G. (1993). Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del Río Cauca. *Revista de la Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia-AINSA,* 13(2): 17-28.

Zúñiga, M. del C.; Rojas, A.M. & Mosquera, S. (1997). Biological aspect of Ephemeroptera in rivers of southwestern Colombia (South América). En: P. Landolt & M. Sartori (eds.). *Ephemeroptera and Plecoptera biology, ecology and systematics.* MTL, Mauron Tinguely y Lachat S.A., Switzerland: 261-268.

Empleo de nuevas metodologías en el monitoreo y zonificación de los cuerpos de agua en Argentina

César Luis García, Carlos Catalini y Carlos Marcelo García

A efectos de presentar la aplicación de nuevas tecnologías se ha considerado oportuno tomar un caso real de reciente aplicación en la Argentina. Durante el mes de abril de 2017, la ciudad de Villa Carlos Paz, Provincia de Córdoba, debió declarar la Emergencia Ambiental por el avanzado estado de eutrofización del Embalse San Roque que provocó afloramientos o "blooms" cianobacterianos del género *Microcistys* spp (**Figura 1**). Esta problemática, si bien no es nueva para este cuerpo de agua, ha alcanzado una periodicidad alarmante la cual implica un alto potencial de peligrosidad para la salud colectiva.

Ante el carácter recurrente del fenómeno y la imposibilidad de una solución en el corto plazo (próximos años) el estado municipal necesita mínimamente monitorear y zonificar el espejo de agua y sus principales tributarios de manera periódica con fin de zonificar las distintas actividades recreacionales que en él se desarrollan, con objeto de prevenir problemas sobre la salud en vecinos y turistas. Además de ser importante para el desarrollo turístico de Villa Carlos Paz, es importante considerar que este Embalse es la principal fuente de agua potable de la segunda población de la República Argentina (Ciudad de Córdoba con más de 1.300.000 habitantes).

Atendiendo al objetivo de desarrollar un sistema que permita monitorear el estado de proliferación de las algas y generar alertas de eventos severos a raíz de éstos, se ha planteado un enfoque interdisciplinario el cual permita crear un Laboratorio de Monitoreo y Remediación Experimental que posibilite:

- Disponer de información de la situación del embalse y sus tributarios mediante monitoreos de calidad y cantidad de agua del Lago San Roque y sus tributarios, además de adaptar metodologías que permitan identificar la cobertura superficial de algas, utilizando imágenes satelitales y Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV, por sus siglas en inglés).
- Zonificar de manera periódica los tributarios y el embalse en función de indicadores de estado como herramienta para la toma de decisiones rápidas, respecto de su uso para recreación o navegación. Emisión de alertas tempranas ante casos extremos.
- Realizar experimentación *in-situ* para evaluar los métodos de mitigación y remediación sugeridos en el sistema local y determinar costos/beneficios de distintas alternativas de mitigación y control de eventos de *blooms* peligrosos para la sociedad.

César Luis García CONICET, Córdoba, Argentina. **Carlos Catalini** Director del Centro de la Región Semiárida, INA, Argentina.**Carlos Marcelo García**. Director del CETA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

a. Detección de floraciones algales a partir de sensores remotos

Es posible monitorear las floraciones algales con medición de biomasa, examinando las especies presentes. Uno de los indicadores normalmente utilizado es la concentración de clorofila-a. Valores pico de esta última para un lago oligotrófico son de alrededor de 1 a 10 $\mu g\ l^{-1}$, mientras que en un lago eutrófico puede alcanzar 300 $\mu g\ l^{-1}$. Ha sido mostrado por la bibliografía especializada que las frecuencias temporales y espaciales de los programas de muestreo de agua convencionales no son adecuadas para reportar cambios en la biomasa del flitoplancton, especialmente durante condiciones de floración, donde la variabilidad espacial y temporal en la densidad del flitoplancton es particularmente alta. Es entonces donde la teledetección es una herramienta fundamental para complementar los monitores tradicionales y comprender los procesos que ocurren en los cuerpos de agua; ésta consiste en medir alguna propiedad de un objeto de interés desde la distancia, desde un sensor a bordo de un satélite o un UAV.

Germán *et al*. (2017) han implementado el monitoreo de floraciones algales en el Embalse San Roque a través de sensores remotos, utilizando imágenes obtenidas con el sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiomenter (MODIS) a bordo del satélite TERRA, específicamente el producto de reflectancia a tope de atmósfera e imágenes del sensor Operational Land Imager (OLI) a bordo del satélite Landsat 8. Pudiendo los autores observar

Figura 1. Ingreso del río San Antonio al cuerpo del Embalse San Roque, Villa Carlos Paz (marzo de 2017)

distintos eventos de floración ocurridos durante la temporada primavera-verano 2016-2017 pudiendo cuantificar su intensidad (**Figura 2**).

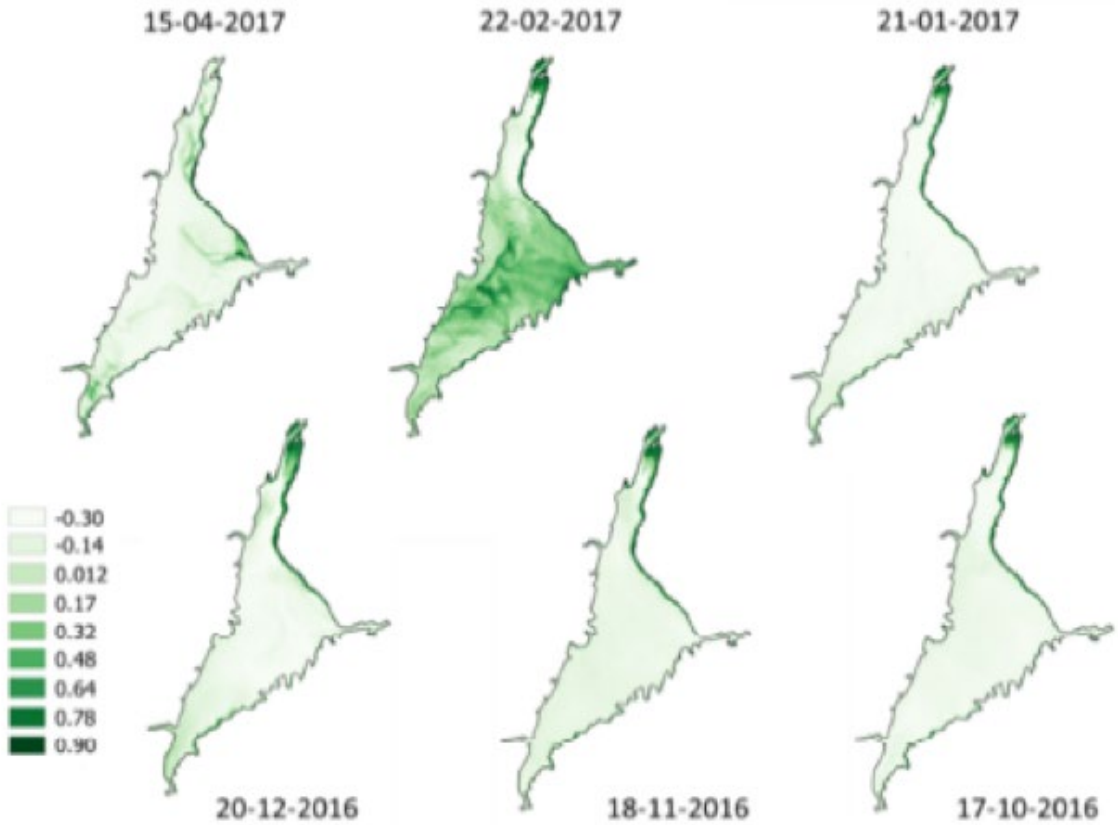
b. Estimación de velocidades superficiales con técnica LSPIV y aplicando video de UAV

La presencia de trazadores en un cuerpo de agua ya sea fluvial o léntico como un embalse o laguna, hace posible aplicar el procedimiento de velocimetría por seguimiento de partículas (PIV, por sus siglas en inglés). Sólo que por las consideraciones de escala, esta técnica comúnmente empleada en laboratorios combinada con Vehículos Aéreos No Tripulados o UAV permite aplicar una metodología similar a superficies de aproximadamente el orden de 5000 m2, surgiendo así la técnica de PIV a Gran Escala (o LSPIV, por sus siglas en inglés - Large Scale Particle Image Velocimetry).

Como ejemplo de aplicación de una combinación de estas técnicas con metodologías tradicionales, se puede citar el monitoreo de los difusores de aire instalados en el Embalse San Roque. De dicha actividad participaron tanto el Municipio de Villa Carlos Paz, la Provincia de Córdoba a través de la Secretaría de Recursos Hídricos, la Patrulla del Río y otras dependencias, así como organismos nacionales representados por la Universidad Nacional de Córdoba y su Centro de Tecnología del Agua (CETA) y el Instituto Nacional del Agua y su Centro de la Región Semiárida (INA-CIRSA).

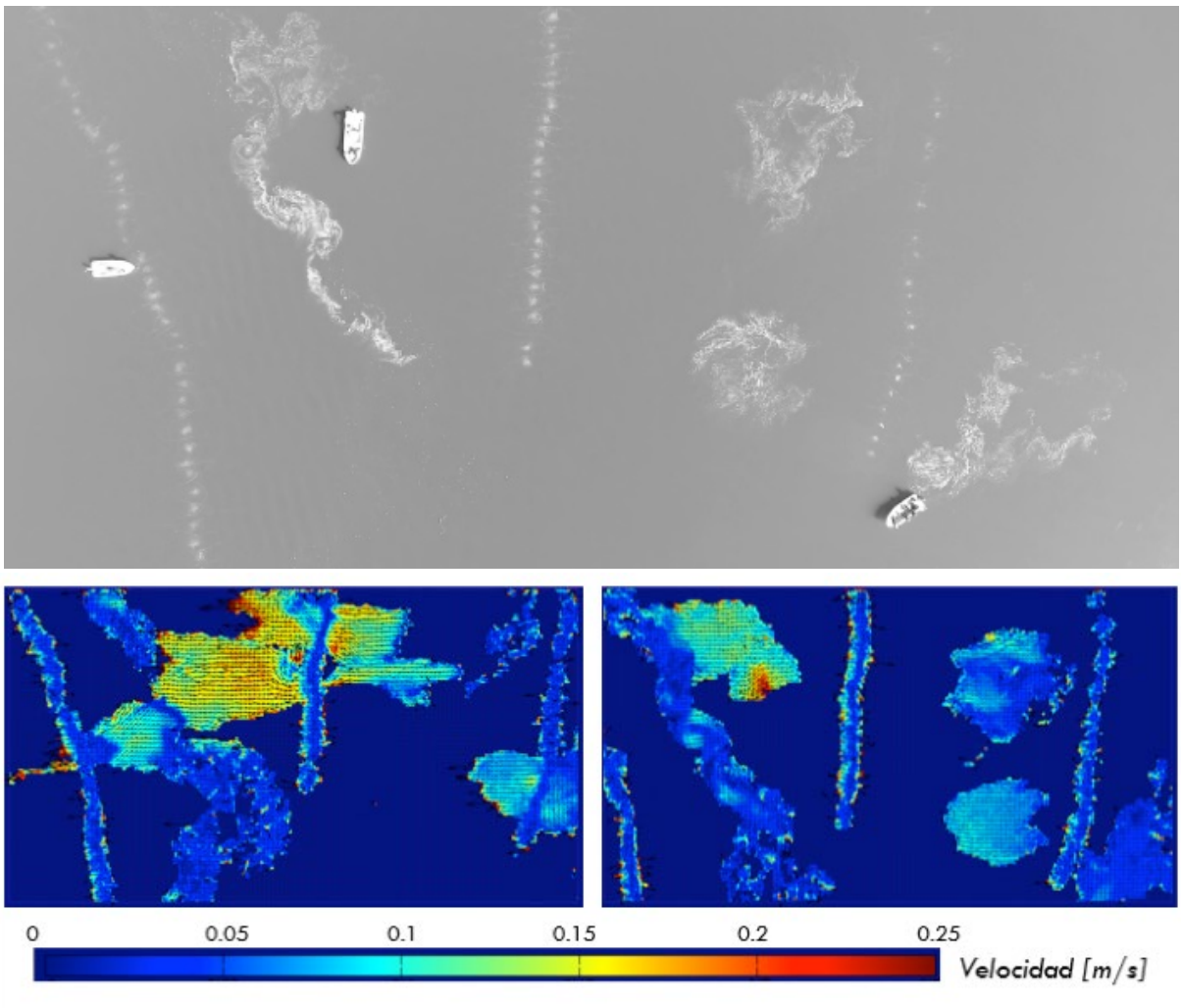
El objetivo planteado fue evaluar la eficiencia del sistema de difusores instalado en disminuir el proceso de eutrofización del lago, que provoca la proliferación de algas en el espejo de agua. El sistema se encuentra compuesto de 7 líneas de caños con pequeñas perforaciones a través de las cuales se produce la inyección del aire. Están colocados en la zona más profunda, a un metro de distancia del fondo. Una de las líneas está colocada en dirección

Figura 2. Cálculo del NDVI para distintas fechas en el Embalse San Roque



Fuente: Germán *et al.*, 2017.

Figura 3. Monitoreo de la efectividad de difusores de aireación Embalse San Roque – LSPIV



a la garganta y el resto se dirigen hacia la zona central del dique.

En teoría se espera incrementar la circulación del agua en el fondo del lago mediante la homogeneización de la temperatura, lo que se consigue mediante el rompimiento de la estratificación térmica, la cual está considerablemente más acentuada durante los meses de primavera y verano.

El mecanismo es el único de este tipo usado en el país y se encuentra instalado desde 2008, siendo ésta la primera vez que se planteó un monitoreo de la efectividad del sistema; por tal motivo, a los técnicos y funcionarios municipales y provinciales se sumaron personal del CETA y de las áreas de Limnología y Calidad del Agua, Geomorfología, y personal de apoyo del INA-CIRSA, empleando sondas multi-paramétricas para la medición de oxígeno disuelto, así como un UAV para el seguimiento de trazadores biodegradables arrojados al cuerpo de agua para determinar las líneas de flujo.

Referencia bibliográfica

Germán, A.; Ferral, A.; Romero Arijon, D.; y Bernasconi, I. (2017). Detección y caracterización de floraciones algales en el embalse San Roque a partir de Sensores Remotos. XXVI Congreso Nacional del Agua. 20 al 23 de septiembre. *Anales de resúmenes de XVI CONAGUA.* Tomo I. 1ª Edición. Editorial Universitas. ISBN 978-987-4029-23-2.

Argentina

La **Argentina**, que enfrenta mayor desafío con la calidad que con la escasez del agua, debe realizar el máximo esfuerzo por alcanzar en el más breve plazo posible el 100% de cobertura de agua segura y aumentar significativamente el saneamiento urbano, incluyendo el tratamiento previo a la descarga en los cuerpos receptores. También es necesario incrementar controles para minimizar la generación de contaminantes industriales, disminuir el uso de herbicidas nocivos y promover el reúso agrícola con líquidos residuales tratados.

Embalse de Potrerillos en Mendoza, Argentina © iStock

Sobre el tema de calidad de agua en las Américas: Argentina

Luis E. Higa, Emilio J Lentini, José María Regueira, Melina Tobías y Raúl A. Lopardo

1. Introducción

1.1 Marco general

En la República Argentina, la oferta de recursos hídricos superficiales se estima en un caudal medio de aproximadamente 26.000 m^3/s (INCyTH, 1994; Pochat, 2005). Tomando en consideración que la población informada en el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas de 2010 (INDEC, 2012) fue de 40.117.096 habitantes, resultaría una cantidad anual en recursos hídricos renovables por persona de aproximadamente 20.500 m^3/habitante/año, muy superior a los 1.700 m^3/habitante/año que fuera adoptado como estrés hídrico o "Índice de Falkenmark" (White, 2012).

Sin embargo, esta disponibilidad media no refleja adecuadamente la real oferta de aguas superficiales en el país, ya que su distribución geográfica es marcadamente desigual. Así, 85% de estos recursos hídricos se encuentra localizado en la Cuenca del Plata, cuya superficie es de sólo un tercio de la superficie continental (INCyTH, 1994; Rodríguez *et al*., 2008), en tanto que las áreas semiáridas y áridas ocupan las dos terceras partes restantes, representando la zona árida la mitad de la superficie total (SDSyPA, 2002).

Además, para evaluar la real disponibilidad, debe tenerse en cuenta la muy diferente densidad poblacional en las diferentes cuencas hidrográficas (INDEC, 2012). En tal sentido, muy importantes provincias argentinas (por ejemplo, Tucumán y Córdoba) presentan una disponibilidad hídrica por habitante y por año inferior al límite de estrés hídrico. En virtud de ello, para paliar ese déficit, en las regiones áridas y semiáridas del país, los recursos hídricos subterráneos resultan fundamentales.

Luis E. Higa. lehiga@fibertel.com.ar Instituto Nacional del Agua. **Emilio J Lentini.** ejlentini@yahoo.com.ar Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación. **José María Regueira.** jmregueira@hotmail.com Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica/UTN Regional Buenos Aires. **Melina Tobías.** melina.tobias@gmail.com Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/ UBA Instituto de Investigaciones Gino Germani. **Raúl A. Lopardo.** raulantoniolopardo@gmail.com Coordinador del capítulo. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales/UNLP.

Tabla 1. Extracciones de agua por uso y fuente entre 1993 y 1997

Usos consuntivos	Agua superficial		Agua subterránea		Total	
	10^6 m³/año	% respecto del total de agua empleada para el uso	10^6 m³/año	% respecto del total de agua empleada para el uso	10^6 m³/año	% del uso respecto del total extraído
Riego	18.000	75	6.000	25	24.000	71
Ganadero	1.000	34	2.000	66	3.000	9
Municipal	3.500	78	1.000	22	4.500	13
Industrial	1.500	60	1.000	40	2.500	7
Total	**24.000**	**---**	**10.000**	**---**	**34.000**	**100**

Fuente: Calcagno *et al.*, 2000.

En la Argentina, el principal uso consuntivo del agua es el correspondiente a riego, con casi 70% del total de agua extraída. El resto se distribuye en los otros tres principales usos: consumo humano, ganadero e industrial. En la **Tabla 1** se presentan los valores estimados de los usos consuntivos del agua extraída en el país entre 1993 y 1997 (Calcagno *et al.*, 2000).

La implementación del Plan Nacional del Agua (PNA), elaborado en el año 2016 por la actual Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica (ex Subsecretaría de Recursos Hídricos),[1] y basado en cuatro ejes centrales, que son: i) garantizar agua para la producción, ii) atender al agua potable y saneamiento, iii) adaptarse a los extremos climáticos, y iv) generar materia y energía a partir de los biomas, seguramente modificará estas proporciones (SIPH, 2017).

1.2 Agua potable y saneamiento

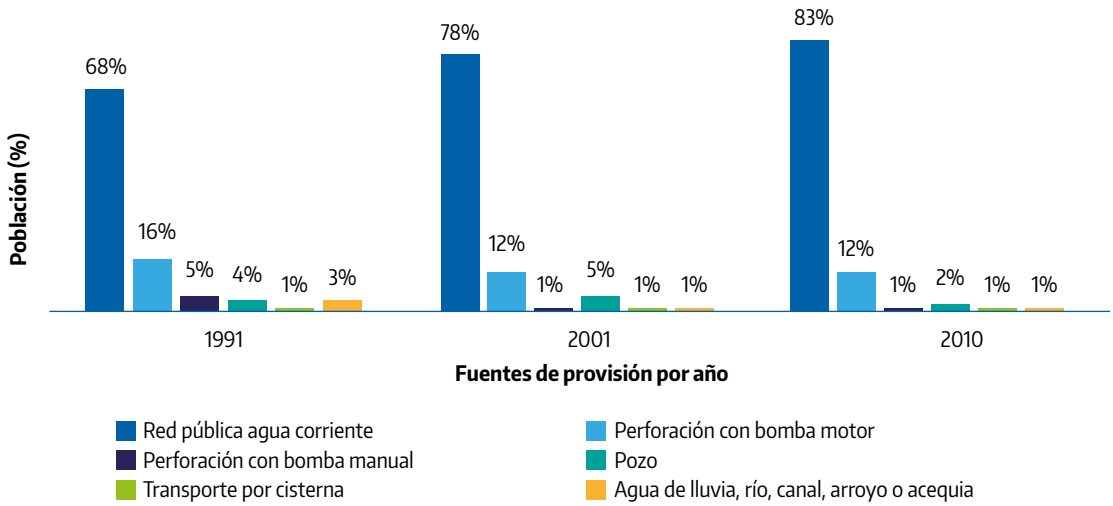
Como es ampliamente reconocido, el saneamiento básico (agua segura y sistema de recolección de excretas y tratamiento) resulta fundamental para la salud de la población. En el mundo, las personas que carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura alcanzan un total de 2,1 billones, mientras que las personas sin servicios de saneamiento adecuados llegan a 4,5 billones (OMS/UNICEF, 2017). Las falencias en el saneamiento básico provocan anualmente la muerte de más de 5 millones de personas. Más aun, se estima que cerca de 2.300 millones de personas padecen enfermedades de origen hídrico. Así, es posible admitir que 60% de las muertes de niños menores de 5 años es causado por enfermedades parasitarias e infecciosas cuyo origen es el agua que consumen.

El agua para consumo humano no sólo es imprescindible como agua de bebida, sino que también resulta fundamental para la higiene personal y la preparación de alimentos. Además, en el caso de viviendas que disponen de sistema de saneamiento con conexión a red de alcantarillado o descarga a cámara séptica o pozo ciego, el agua es empleada para la higiene de los inodoros, y el transporte y alejamiento de las excretas. De acuerdo con la OMS (OMS, 2015), las enfermedades diarreicas son la tercera causa de muerte entre los niños menores de 5 años, estimándose que más de 340.000 de ellos mueren anualmente por enfermedades diarreicas debidas a un saneamiento deficiente; casi 1.000 niños por día. Además, atribuye a la falta de agua, saneamiento e higiene el que unos 161 millones de niños sufran retraso del crecimiento o malnutrición crónica.

En ese mismo informe también resalta, al año 2015, que anualmente podrían evitarse 842.000 muertes con la mejora del agua, el saneamiento y la higiene. Asimismo, se destaca que las deficiencias en el agua, el saneamiento y la higiene contribuyen en gran medida a enfermedades como la esquistosomiasis, el tracoma y las helmintiasis que afectan a más de 1.500 millones de personas por año. Debe destacarse que estas cifras tan alarmantes son es-

1. Mediante el Decreto del Poder Ejecutivo Nacional No 174 del 2 de marzo de 2018, el organismo de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación fue elevado al rango de Secretaría, cambiando la denominación a Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica.

Figura 1. Cobertura de agua potable por tipo de fuente (2010)



Fuente: INDEC (2010).

timaciones actualizadas de la OMS del año 2015, es decir, al finalizar el período acordado por los países suscriptores a las Metas de Objetivos de Desarrollo del Milenio.[2]

La importancia fundamental del agua y del saneamiento en el desarrollo humano ha sido reconocida por la ONU a través de la Resolución 58/217 que declara al período comprendido entre los años 2005-2015 como el Decenio Internacional para la Acción: "El agua, fuente de vida". Más aun, las Naciones Unidas en la Sesión Plenaria del 28 de julio de 2010 reconocieron, a través de la Resolución 64/292, al agua y el saneamiento como un derecho humano.

En la Argentina, los últimos datos censales disponibles (2010) dan cuenta de una cobertura nacional de agua por red pública que alcanza a 82% de la población, y una cobertura de cloacas que llega a 40%.

Contrastando los datos con los de censos anteriores, es posible observar un continuo crecimiento en ambos servicios, con valores significativamente más elevados para el caso del agua potable que las cloacas (Bereciartúa, 2017) ver **Figura 1**.

Las estimaciones realizadas por la SIPH para el año 2015 dan cuenta de que 39,8 millones personas del total nacional residen en áreas urbanas, de las cuales 87% tiene acceso a agua por red pública y 58% a cloacas. Si bien actualmente no es posible contar con estadísticas confiables respecto del nivel de tratamiento de aguas residuales, algunas fuentes calculan que se encuentra entre 15 y 20% de las aguas recolectadas (PNAPyS, 2017:10). Estos datos a nivel nacional permiten apreciar el desafío actual que afronta el país en materia de expansión de agua y saneamiento, situación que, como se expresa en la **Figura 2**, se agrava al desagregar la cobertura en zonas urbanas y rurales.

Asimismo, los datos presentados permiten apreciar que la disparidad de cobertura no sólo se da en relación con el área (urbana/rural), sino también en relación con el tipo de servicio, siendo la cobertura de agua potable considerablemente mayor que la de cloacas. Por otro lado, la accesibilidad a los servicios no se distribuye de manera homogénea en el conjunto social, siendo los sectores sociales en mayores condiciones de vulnerabilidad los que presentan menores niveles de cobertura. Esto se observa al comparar la accesibilidad a los servicios que tiene la población con indicadores de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), frente a los valores que asume en el resto de la población. Mientras que en los sectores con NBI el agua por red al-

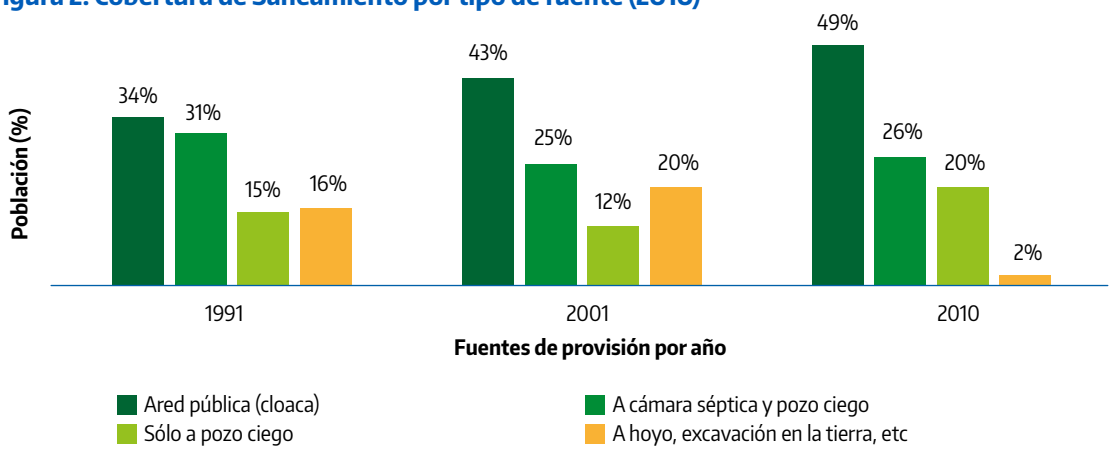
2. Los ODM fueron fijados en la Cumbre del Milenio en el año 2010, organizada por la Asamblea de las Naciones Unidas, donde –entre otras cosas- se reconoció la importancia vital de ambos servicios y se comprometió a los países partes a reducir a la mitad para el año 2015 la proporción de personas que carecían de acceso al agua potable y al saneamiento básico o que no podían costearlo.

canza a 73% de la población, en los otros sectores sociales asciende a 85%, la misma tendencia se observa en el caso del servicio de cloacas donde los valores de cobertura pasan de 31 a 56% (PNAPyS, 2017:22) ver **Figura 3**.

Para revertir el déficit de servicios que afronta el país, el Gobierno Nacional ha diseñado en el año 2016 un Plan Nacional del Agua Potable y Saneamiento (PNAPyS) (alineado con el Plan Nacional de Agua), que se ha fijado como metas para el año 2023 alcanzar 100% de cobertura de agua suministrada por red pública y 75% de cobertura en cloacas para la población urbana del país. Con la finalidad de poder cumplir con los objetivos del plan, en el año 2016 se creó, dentro de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica, la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento, encargada de llevar adelante el seguimiento de las metas y de sistematizar información relevante del sector, ver **Figura 4**.

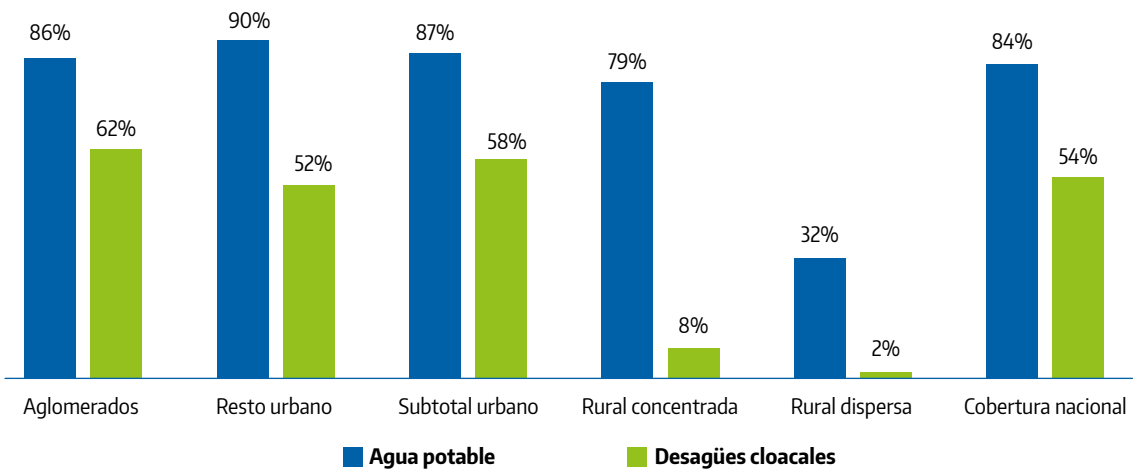
Dentro de las acciones que ha desarrollado en este tiempo la Dirección, se destaca el relevamiento de la *Guía de Indicadores e índices de desempeño*

Figura 2. Cobertura de Saneamiento por tipo de fuente (2010)



Fuente: INDEC (2010).

Figura 3. Habitantes con y sin servicio de agua potable y saneamiento en áreas urbanas y rurales (año 2015)



Fuente: PNAPyS (2017). La razón de por qué en tan poco tiempo (5 años) las cifran cambian tanto, tiene que ver con las proyecciones de población realizadas en función de distintas fuentes de INDEC: Censo de población, y Encuesta Permanente de Hogares.

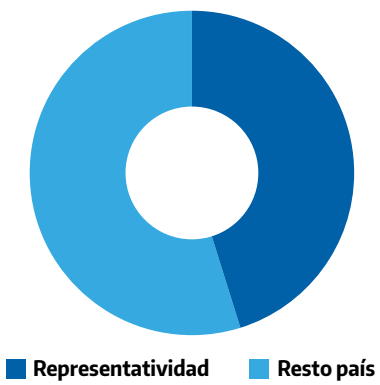
para prestadores de Agua y Saneamiento, cuyo objetivo es reunir información relevante de las prestadoras vinculada a la identificación del prestador, los datos de la población y cuentas o conexiones, instalaciones e insumos, producción, consumo, indicadores de gestión (personal, medidores, agua no contabilizada, etcétera), tratamiento de aguas residuales, calidad de los servicios, la atención al cliente y los datos económicos (facturación, costos, estados contables). Hasta el momento se ha logrado recopilar la información correspondiente a 9 de las empresas más importantes del país que representan alrededor de 54% de la población total, cubierta a nivel nacional.

1. 3 Agua para riego

Con respecto al agua para riego, de acuerdo con el Censo Nacional Agropecuario 2002 (INDEC, 2002), la superficie total utilizada con esos fines en el país era de 33.491.480 ha (aproximadamente 19% de la superficie total cultivable), de las cuales sólo 1.355.601 ha eran efectivamente regadas (aproximadamente 4%), siendo Mendoza la provincia con la mayor superficie regada, con un total de 267.889 ha, equivalente a 19,8% de la superficie total regada en el país.

Actualmente (FAO-PROSAP, 2015), se estima que la superficie regada en el país asciende a unos 2,1 millones de hectáreas, de las cuales 68% se ubica en regiones áridas y semiáridas. El 32% restante corresponde a las regiones húmedas, donde se realiza riego complementario.

Figura 4. Representatividad de datos obtenidos por la Guía de Indicadores. Mayo de 2018



Fuente: DNAPyS (2018).

Como se muestra en la ya mencionada **Tabla 1**, aproximadamente 71% del agua extraída es empleada para riego. En el año 2014 (Aquastat, 2014), el porcentaje de superficie cultivada era de aproximadamente 14,5%, del cual 5,8% (en el año 2011) estaba bajo riego. Ahora, los porcentajes de fuentes de agua para riego que se utilizan son: agua superficial (57,6%), agua subterránea (17%) y mixta (25,4%).

Teniendo en cuenta que en el país la actividad agrícola es la más importante desde el punto de vista económico, involucrando muy extensas superficies de suelo, son necesarios muy importantes volúmenes de agua para el riego. Ello hace necesario para maximizar los rendimientos un creciente uso intensivo de agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes), por lo que no hay duda de que la actividad agrícola es una de las actividades que genera mayor impacto sobre los recursos hídricos.

A lo descripto debe agregarse la decisión del Estado Nacional a través del la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (Ministerio de Agroindustria) de diseñar el Plan Nacional de Riego de la República Argentina (PNR), a fin de impulsar el desarrollo integralmente sustentable de la agricultura irrigada en todo el territorio nacional. El objetivo consiste en duplicar la actual superficie irrigada para llegar al año 2030 con 4.000.000 de hectáreas e incrementar la eficiencia de aplicación del agua para riego a través de proyectos de abastecimiento colectivo y de sistemas privados, con utilización de fuentes subterráneas. De este modo, el plan apunta a modificar los porcentajes del tipo de fuentes de agua empleadas, ya que actualmente 65% del agua para riego proviene de fuentes superficiales, pero sólo 35% lo hace de fuentes subterráneas (Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal-SIPH, 2018a). Es decir que en el futuro se espera una mayor presión sobre los recursos hídricos disponibles.

Una forma de mitigar esta situación –y que debería evaluarse– es el reúso de los líquidos residuales domésticos tratados con fines de riego agrícola y forestal (silvicultura). Sin embargo, a los impactos positivos (aprovechamiento de nutrientes y materia orgánica por los cultivos, que permitiría reducir el uso de fertilizantes químicos) se les agregan potenciales efectos negativos, tales como el aumento de la salinidad y toxicidad en el agua de riego, el incremento de iones perjudiciales en la matriz del

suelo, necesidad de control de patógenos en los cultivos, entre otros.

En tal sentido, los Principios Rectores de la Política Hídrica de la República Argentina (COHIFE, 2003), en su apartado Agua y Ambiente (Principio 11) bajo el título de Conservación y reúso del agua, establecen: "Las prácticas conservacionistas y el reúso del agua brindan oportunidades para el ahorro del recurso que derivan en importantes beneficios sociales, productivos y ambientales, beneficios que deben compartirse entre los múltiples usuarios del recurso. El reciclado del agua a partir de la modificación de procesos industriales, la disminución de los altos consumos de agua potable, el reúso de aguas residuales proveniente de centros urbanos e industriales en otras actividades, el aumento de eficiencia en el consumo de agua por el sector agrícola bajo riego, constituyen líneas de acción concurrentes en pos del uso racional y sustentable del recurso".

En la actualidad, las principales experiencias de reúso de aguas residuales tratadas se presentan en la provincia de Mendoza (Calcagno *et al*., 2000), que es la única provincia que tiene una normativa específica –la Resolución N°400/2003– para el reúso directo de aguas residuales tratadas (Departamento General de Irrigación, 2003). Allí, las principales plantas de tratamiento de esa provincia son las de Campo Espejo y El Paramillo. Ellas procesan casi 80% de los líquidos residuales domésticos que se tratan en la provincia. Ambas emplean sistemas de lagunas de estabilización.

En la planta depuradora de Campo Espejo se tratan unos 140.000 m^3/día (1,7 m^3/s) que se emplean para regar aproximadamente 2.000 ha mediante reúso directo (Fasciolo *et al*., 1998) y que eventualmente riegan indirectamente más de 10.000 ha a través del canal Jocoli (Barbeito Anzorena, 2001).

La planta depuradora El Paramillo trata unos 91.000 m^3/día (1 m^3/s), los que se utilizan para regar en verano unas 1.800 ha (Álvarez *et al*., 2008). De acuerdo con esta información (Fasciolo *et al*., 1998; Barbeito Anzorena, 2001; Álvarez *et al*., 2008). De acuerdo con esta información, tomando la superficie total regada en la provincia de Mendoza (INDEC, 2007), menos de 2% de esa superficie utiliza el riego mediante reúso directo de aguas residuales tratadas.

Cabe destacar que la Resolución Nº400/2003 del Departamento General de Irrigación de la provincia de Mendoza, que establece el Reglamento de Área de Cultivos Restringidos Especiales (ACRE), en su capítulo décimo segundo fija los métodos de riego permitidos dentro del ACRE (por melgas sin pendiente, por surcos sin desagüe al pie, por riego subsuperficial, por riego localizado) y prohíbe de manera expresa el riego por aspersión, pivote o similar que proyecte el efluente hacia la atmósfera. Dicha Resolución también prevé medidas complementarias para la protección de los trabajadores (uso de elementos de protección personal) y a los consumidores a través de campañas de educación sanitaria, restringiendo el reúso a cierto tipo de cultivos y permitiendo la cosecha sólo transcurridas cuatro semanas después del último riego.

Aunque mucho más limitadas, también existen otras experiencias de reúso de aguas residuales tratadas en otras provincias, como por ejemplo en Chubut, Córdoba, Neuquén y Río Negro.

En el país hay pocos antecedentes sobre reutilización de lodos fecales tratados. El más importante de ellos es la producción de "compost" en la planta depuradora de la turística ciudad de Bariloche, en la provincia de Río Negro. Las reglamentaciones aplicables son la Resolución N° 410/2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Nación (actualmente Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable - SAyDS) que deroga la Resolución N° 97/2001 de la SAyDS y la Resolución N° 264/2011 y su Anexo I del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (actualmente Ministerio de Producción y Trabajo), a través de su "Reglamento para el registro de fertilizantes, enmiendas, sustratos, acondiciona-dores, protectores y materias primas en la República Argentina".

1. 4 Principales problemas de calidad de agua

La Argentina tiene numerosos y variados problemas relacionados con la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. En el caso de las aguas superficiales, los principales problemas están asociados a la descarga de líquidos residuales domésticos e industriales sin un adecuado tratamiento. En virtud de ello, los principales contaminantes que se encuentran son: la materia orgánica biodegradable, los macronutrientes, las bacterias y otros microorganismos, y las sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas. En las aguas subterráneas, los problemas

de calidad están asociados principalmente a contaminantes de origen natural –principalmente arsénico y flúor– o a contaminantes antropogénicos –nitratos, contaminantes fecales, plaguicidas y diversos tóxicos de origen industrial (solventes organoclorados, hidrocarburos, compuestos fenólicos, etcétera)–.

Se destacan dentro del país los siguientes casos de contaminación antrópica:

- Contaminación en importantes cuencas próximas a centros urbanos muy poblados, como: Matanza Riachuelo y Reconquista en Buenos Aires, Salí-Dulce en la provincia de Tucumán que también impacta en Santiago del Estero (Embalse de Río Hondo) y San Antonio en la provincia de Córdoba (Dique San Roque).
- Contaminación de acuíferos con nitratos por la infiltración de compuestos nitrogenados a causa de la inadecuada disposición de excretas, debido a la baja cobertura de red de alcantarillado, la cría intensiva de ganado (*feedlots*) y el inadecuado uso de fertilizantes químicos en las actividades agrícolas.
- Contaminación de aguas subterráneas con combustibles, provocada por pérdidas en tanques de almacenamiento, como ha ocurrido en varios puntos de la ciudad de Buenos Aires y en proximidades del Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini de Ezeiza.
- También se ha informado contaminación de aguas superficiales en el noreste y otras zonas del país debido a procesos de deforestación para incrementar las superficies cultivables; esto aumenta la velocidad de las escorrentías y el arrastre de material superficial del suelo, provocando su erosión y el mayor aporte de sólidos a las aguas.

A estos problemas se agrega la dificultad de contar con fuentes oficiales unificadas de información que permitan hacer seguimiento de la calidad del agua a nivel nacional. Esto se debe a la inexistencia de una única base de datos que reúna concentraciones medidas de los parámetros necesarios (NTO, P reactivo, pH, conductividad y OD) en sitios homogéneamente distribuidos de la República Argentina. En esta línea, a partir de 2018, la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica complementa las actividades de la Red Hidrológica incorporando la medición de los parámetros de calidad de agua: nitrógeno total oxidable, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de amonio, fósforo reactivo, pH, conductividad y oxígeno disuelto (Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal-SIPH, 2018b).

1. 5 Objetivos y alcance del capítulo

Los objetivos de este capítulo son mostrar, a grandes rasgos, la estructura legal que tiene la Argentina en los temas ambientales en general y en los recursos hídricos en particular, las herramientas de monitoreo y bases de datos en relación con los recursos hídricos, y los principales contaminantes y efectos sobre la calidad de las aguas y los suelos.

2. Autoridades y "gobernanza" de calidad de agua

2.1 Marco legal

La República Argentina ha adoptado para su gobierno la forma representativa, republicana y federal, con división del Gobierno central en tres poderes: ejecutivo, legislativo y judicial. En consonancia con los principios, declaraciones y garantías de la Constitución Nacional, cada provincia se rige por su propia Constitución. El territorio nacional está integrado por la Capital Federal, establecida en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 23 provincias (INDEC, 2012).

La Carta Magna establece que "las provincias conservan todo el poder no delegado por esta Constitución al Gobierno Federal, y el que expresamente se hayan reservado por pactos especiales al tiempo de su incorporación". En la reforma constitucional de 1994, se estableció en el Artículo 124 que "corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio", por lo que éstas tienen la potestad de reglamentar las relaciones emergentes de su aprovechamiento, defensa y conservación. Debido a lo expuesto, cuando los recursos hídricos son compartidos por varias provincias, resulta necesario procurar acuerdos entre las partes. Este rol lo cumplen los Comités de Cuenca y los Organismos de Cuenca Interprovinciales (https://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/rh-cuencas.php).

Por otra parte, en el Artículo 41 de la Constitución Nacional se establecieron diversas garantías

de los habitantes, relativos al ambiente y a los recursos naturales; explicitando que "corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales".

Cabe destacar que, a la fecha, no existe una ley nacional de aguas. Si bien han sido presentados diversos proyectos de ley nacional o federal de aguas, no han encontrado el respaldo necesario para su sanción y promulgación. Así es que, en diciembre de 2002, se promulgó la Ley Nº 25.688, denominada "Régimen de Gestión Ambiental de Aguas", que establece la creación, para las cuencas interjurisdiccionales, de comités de cuencas hídricas. Sin embargo, se encuentra aún pendiente de reglamentación, recibiendo críticas porque avanzaría sobre potestades provinciales no delegadas a la Nación. De todas maneras, actualmente los cuadros técnicos del Gobierno Nacional están trabajando en la definición de los niveles de calidad de agua ambiental.

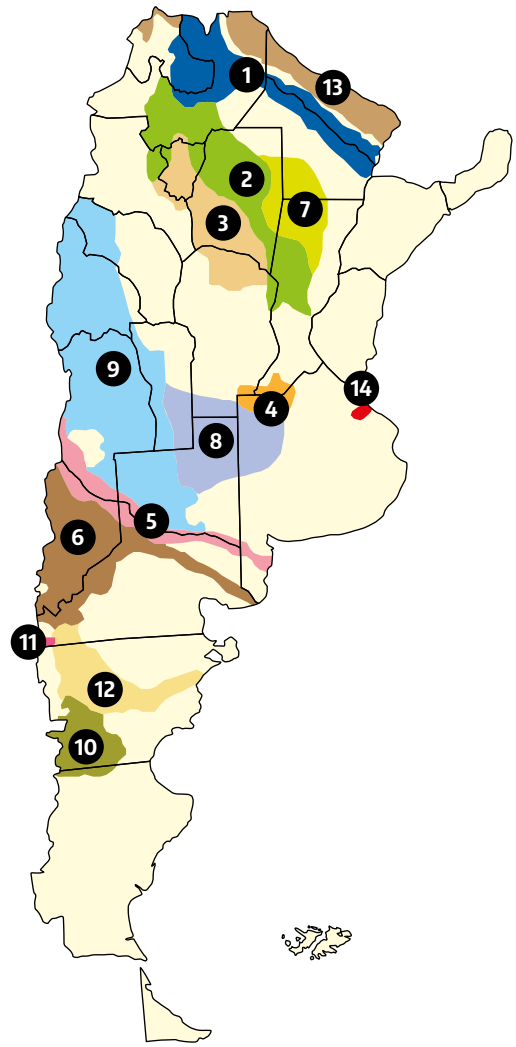
Los principales organismos vinculados a la gestión de los recursos hídricos a nivel nacional son:

- Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica (SIPH) (Ex Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH), dependiente del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda de la Nación
- Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
- Consejo Hídrico Federal (COHIFE)
- Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA)
- Organismos de Cuencas Interprovinciales
- Organismos de Cuencas Internacionales

A nivel nacional, el organismo con competencia en el sector es la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica (SIPH) dentro del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda. Dicho organismo tiene la función de intervenir en la elaboración y ejecución de la política hídrica nacional y de la política relativa a los servicios públicos de abastecimiento de agua potable y saneamiento. Como se mencionó anteriormente, dentro de la SIPH funciona la nueva DNAPyS. A su vez, la SIPH es quien propone el marco regulatorio del manejo de los recursos hídricos, así como la organización y fortalecimiento del sector de agua potable y saneamiento, y vincula y coordina la acción de las demás jurisdicciones y organismos en la prestación y expansión de estos servicios.

El ENOHSA, creado en el año 1995, aunque como continuador de un organismo existente, tiene la función de organizar y administrar la ejecución e instrumentalización de los programas de desarrollo de infraestructura que deriven de las políticas nacionales del sector, así como también del financiamiento destinado a aquéllas (sea éste nacional o internacional).

Figura 5. Mapa de los principales organismos de cuenca en el país



Fuente: COHIFE.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable tiene a su cargo la Dirección Nacional de Biodiversidad y Recursos Hídricos y Acuáticos, cuyos principales temas a tratar en materia hídrica son el listado de los humedales a nivel nacional, la conformación del inventario de glaciares (Ley 26639), la protección de áreas protegidas costeras, la gestión de cuencas hídricas y el relevamiento de datos vinculados a la calidad de agua, ver **Figura 5**.

Por su parte, el Consejo Hídrico Federal (COHIFE) se constituyó formalmente el 27 de marzo de 2003, mediante la firma de un acta entre las provincias y la nación (http://www.cohife.org.ar/Dfundacionales.html). Con su creación se logró un avance sustantivo para poder realizar en el país una gestión integrada de los recursos hídricos. El primer paso ha sido el establecimiento de los "Principios rectores de política hídrica" (COHIFE, 2003). La Ley 26.438 ha ratificado el Acta Constitutiva del COHIFE, su Carta Orgánica y las actas de las asambleas extraordinarias 1 y 2 del mencionado Consejo.

El Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA) es la máxima autoridad ambiental de la República; fue formalmente creado en 1990 (aunque el organismo fue reconocido por el conjunto de las provincias hasta 1993). Lo integran representantes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, los gobiernos provinciales y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Su principal tarea es coordinar la elaboración de la política ambiental entre todas las provincias, así como fijar y actualizar los niveles exigidos de calidad ambiental en los diferentes recursos ambientales en todo el territorio nacional, entre ellos, los recursos hídricos.

Por último, en relación con las cuencas interprovinciales e internacionales, existen distintos tipos de organismos encargados de su gestión: comités de cuencas, autoridades o mesas de trabajo. A nivel nacional, los principales organismos son 16.

Con respecto a normativas para el reúso de aguas residuales, incluyendo al reúso agrícola, todavía no existe en el país una reglamentación que establezca los presupuestos mínimos aplicables a todas las jurisdicciones. En el Congreso Nacional existen varios proyectos en estudio, pero todavía no han obtenido el consenso necesario para su sanción. (Fuente: http://www.hidricosargentina.gov.ar/politica_hidrica.php?seccion=2020)

2.2. Monitoreo y base de datos

En relación con las bases de datos vinculadas a los recursos hídricos, en el ámbito de la SIPH se ha creado el Programa Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH) (https://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/rh-nac.php), cuyos objetivos son recolectar, procesar y almacenar los datos obtenidos por la Red Hidrológica Nacional (RHN). Actualmente la RHN cuenta con 369 estaciones que están operadas por terceros y en la mayoría de ellas se registran datos hidrológicos y meteorológicos (https://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/red-hidrologica.php).

Actualmente, el Instituto Nacional del Agua (INA) se encuentra trabajando con la SIPH con el fin de evaluar la posibilidad de agregar, a 110 de las estaciones existentes, mediciones de parámetros de calidad de agua, tales como: pH, temperatura, conductividad específica, oxígeno disuelto, turbidez, nitrógeno oxidable y fósforo de ortofosfato.

También, recientemente se han creado, mediante la Resolución 249-E/2017 del MAyDS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2017), la Red Federal de Control Ambiental y la Red Nacional de Laboratorios Ambientales, que cuentan con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

3. Principales problemas que impactan la calidad de agua en el país

3.1 Eutrofización

La eutrofización es uno de los principales problemas que impactan sobre la calidad del agua de los embalses y lagos argentinos. En los casos que preocupan a nivel nacional, el fenómeno principalmente es producto de la descarga a esos cuerpos de agua de líquidos residuales domésticos sin tratamiento o con un tratamiento insuficiente. El aumento de la productividad biológica en este tipo de cuerpos de agua genera problemas en los sistemas de potabilización por la necesidad de emplear mayores dosis de coagulantes-floculantes, disminuyendo la carrera de los sistemas de filtración. Además, el crecimiento de cianófitas aumenta el riesgo por las al-

tas concentraciones de microcistinas y otros tóxicos producidos por estos organismos, dificultando aún más los procesos de potabilización.

Dos importantes ejemplos de caso son el del embalse del dique San Roque en Villa Carlos Paz, en la provincia de Córdoba, y el del embalse del dique Paso de las Piedras en Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires.

Otros ejemplos son la afectación de importantes cuerpos de agua en áreas de gran importancia turística. Por ejemplo: el lago Nahuel Huapi, en Bariloche (provincia de Río Negro), el lago Lácar, en San Martín de Los Andes (provincia del Neuquén) y el embalse de Río Hondo, en la provincia de Santiago del Estero. Con respecto a la importancia del problema en el mencionado embalse del dique San Roque, basta decir que es la principal fuente de agua potable de la ciudad de Córdoba, segunda ciudad más importante de la Argentina, con más de 1.300.000 habitantes.

3.1.1 Cianobacterias

En los últimos años se ha registrado en Argentina una serie de floraciones de cianobacterias toxígenas en distintos sistemas fluviales, tales como los ríos Uruguay, Paraná y Limay, y los embalses de Salto Grande, Río Tercero, Yaciretá, Dique San Roque, Dique Los Molinos, Dique Paso de las Piedras, entre otros. Si bien en Argentina no se cuenta con un sistema de información de su impacto en la salud de las poblaciones expuestas, se sabe que toda floración de cianobacterias debe ser considerada en principio como potencialmente tóxica y, por lo tanto, como un problema de salud pública que requiere acciones para minimizar su efecto negativo en las comunidades en riesgo. Las cianobacterias o algas verde azules pertenecen a los organismos más antiguos del planeta y poseen características que son comunes a otras bacterias y a las algas eucariotas, lo que les confiere cualidades únicas en cuanto a su fisiología, tolerancia a condiciones extremas y flexibilidad adaptativa. Su desarrollo natural se ha visto modificado por la acción humana, principalmente por el aporte desmedido de nutrientes de las descargas cloacales a los cuerpos de agua dulce, el uso creciente de fertilizantes y el endicamiento de los ríos. Este fenómeno se ha visto agravado, además, por el cambio climático, ya que el incremento de las temperaturas de los cuerpos de agua favorece el desarrollo de aquéllas (bloom algal) como grupo competitivamente exitoso contra el resto del fitoplancton. Las cianobacterias toxígenas más frecuentes suelen producir varias toxinas causantes de trastornos neurológicos, hepáticos, dérmicos y/o respiratorios en los seres humanos, tanto por ingesta, inhalación, como por contacto con el agua. Existen varios estudios en Argentina donde se detectaron microcistinas (caso Lago San Roque y Paso de las Piedras) en todas las estaciones, e incluso durante el invierno se observaron concentraciones relativamente altas (Ruibal Conti, A.L.; Guerrero J.M.; Regueira J.M., 2005).

No obstante lo anterior, el control de las fuentes de abastecimiento de agua potable para detectar la presencia de las cianobacterias nocivas y sus metabolitos no es todavía una práctica común en Argentina, y ni siquiera se ha incluido aún la obligatoriedad del recuento de cianobacterias y de medición de concentración de toxinas en las normas de calidad del agua potable.

El Ministerio de Salud de la Nación (2017a) ha convocado a un grupo de especialistas para organizar el conocimiento sobre el tema y facilitar al equipo de salud el acceso a la información.

3.2 Contaminantes naturales

En la Argentina, los principales contaminantes de origen natural son: arsénico, flúor y boro. Los dos primeros, fundamentalmente, en aguas subterráneas y, el boro, tanto en aguas superficiales como subterráneas. De estos tres contaminantes, por su importancia en el país, se hará mayor hincapié en el tema arsénico.

3.2.1 Arsénico

Con fecha 22 de mayo de 2007, la Secretaría de Políticas, Regulación y Relaciones Sanitarias (dependiente del Ministerio de Salud de la Nación) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (dependiente del Ministerio de Economía y Producción de la Nación) resolvieron modificar los artículos 982 y 983 del Código Alimentario Argentino (Resolución MSyAS No 494/94) referidas a las características físicas, químicas y microbiológicas del agua potable y el agua gasificada, a través de la Resolución Conjunta 68/2007 y 196/2007. Así, la mencionada Resolución Conjunta fijó como nuevo valor máximo para el arsénico una concentración

de 0,01 mg/l, cinco veces menor al vigente hasta ese momento que era de 0,05 mg/l, estableciendo un plazo de cinco años para que los proveedores de agua se adecuen al nuevo límite. Ese plazo vencía en mayo de 2012.

En ese año, la Secretaría de Políticas, Regulación e Institutos del Ministerio de Salud y la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca emitieron la Resolución Conjunta N° 34/2012 y 50/2012 (B.O. 16-02-12) prorrogando los plazos previstos anteriormente hasta contar con los resultados del estudio: "Hidroarsenicismo y Saneamiento Básico en la República Argentina – Estudios Básicos para el establecimiento de criterios y prioridades sanitarias en la Argentina" cuyos términos fueran elaborados en el ámbito de la Subsecretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios.

La razón por la cual las autoridades sanitarias argentinas promovieron esta modificación fue que la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su *Guía de Calidad de Agua de Bebida* (tercera edición) recomienda un valor guía para el arsénico de 0,01 mg/L, entre otras razones, porque la International Agency for Research on Cancer (IARC), dependiente de la OMS, clasifica al arsénico como carcinógeno humano (Grupo 1).

En la Argentina, así como en otros países en el mundo, la intoxicación crónica con arsénico está principalmente asociada a la presencia de este contaminante en relativamente altas concentraciones en el agua de bebida cuando la fuente de agua es subterránea, siendo su presencia en esas aguas, principalmente, de origen natural.

El consumo de aguas arsenicales conduce a diversas manifestaciones del denominado Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), que en Argentina se presenta en una extensa región que tiene como centro al sudeste de la provincia de Córdoba, extendiéndose a las de Buenos Aires, Santa Fe, Santiago del Estero, San Luis, Tucumán, La Pampa, Salta, Jujuy, Chaco y a algunas otras provincias. En nuestro país, la enfermedad, por primera vez, fue descripta en el año 1913 por el Dr. Mario Goyenechea. En el transcurso de los años, la enfermedad ha recibido distintas denominaciones, hasta que en 1944 se propuso la antes mencionada "HACRE" e Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico Argentino "HACREA", ya que en este país la enfermedad se manifiesta con características propias, que la diferencian de enfermedades similares en otras zonas endémicas del mundo, como México, Chile y Taiwán.

Si bien constituye una patología definida y bien descripta clínicamente, está aún en etapa de evaluación epidemiológica en el país. La propia OMS expresa en las *Guías de Calidad de Agua de Bebida* que "…puede existir una sobreestimación del riesgo real…" en la determinación del riesgo carcinogénico del arsénico y alienta la realización de estudios locales. La OMS reconoce que los países para establecer sus prioridades sanitarias en cuanto a la calidad del agua de bebida deberían tener en cuenta las siguientes prioridades:

- Garantizar un suministro adecuado de agua microbiológicamente salubre y mantener su aceptabilidad para disuadir a los consumidores de consumir agua potencialmente menos salubre.
- Controlar los principales contaminantes químicos reconocidos como causantes de efectos adversos para la salud.
- Gestionar otros contaminantes químicos.
- El costo de las modificaciones de las plantas de potabilización existentes necesarias para poder cumplir con un valor límite tan exigente.
- El costo de la operación y el mantenimiento de las nuevas instalaciones.
- El tiempo que se requiere para realizar las inversiones necesarias.
- El sistema de control de calidad para asegurar concentraciones de arsénico tan bajas, necesita de recursos humanos, equipamiento analítico e instalaciones de laboratorio no disponibles en la mayoría de las pequeñas y medianas poblaciones.

En el mes de marzo de 2017, se lanzó la licitación para la "Contratación de trabajo de consultoría sobre hidroarsenicismo y saneamiento básico en Argentina", Programa de Desarrollo de las Provincias del Gran Norte: Infraestructura de Agua Potable y Saneamiento - BID 2776 / OC Préstamos AR, destinados a consultorías para trabajar en estudios básicos para el establecimiento de criterios y prioridades sanitarias relacionados con el hidroarsenicismo, para que los estudios comiencen en los próximos meses.

3.2.2 Boro

Las principales fuentes naturales de boro son un pequeño número de minerales de borato (óxido de boro), cuyos principales depósitos de estos minerales se encuentran en los Estados Unidos de América (EUA), Turquía, Chile, Bolivia y la Argentina, existiendo además ciertos minerales de silicato de boro en China y Rusia. Según las normativas argentinas, que se presentan en el Código Alimentario Nacional, se considera admisible para agua de bebida hasta un máximo de boro de 0,5 mg/l.

Existen trabajos recientes que han profundizado el conocimiento sobre la presencia de boro en la zona norte de nuestro país. Especialistas de los tres países que conforman la cuenca del Río Pilcomayo definieron, en los años 2006 y 2007, la realización de monitoreos intensivos y extensivos en la cuenca, de frecuencias aproximadamente mensuales y semestrales, respectivamente, consensuando las metodologías analíticas y los puntos de monitoreo para contar con datos analíticos confiables para su interpretación. Si bien los datos generados por los monitoreos realizados están focalizados a metales pesados, resaltan elevadas concentraciones de boro disuelto en agua, de origen geológico con máximos y mínimos que varían entre 974 y 235 µg/l respectivamente (Coppo, Jakomin y Delrieux, 2017).

El nivel guía de calidad de agua para boro destinado a consumo humano, contemplando un tratamiento convencional en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada, es de 260 µg/l. En la Argentina, para ciertos cuerpos superficiales de agua de la Provincia de Salta, han sido reportadas concentraciones altas de boro atribuibles a la geología natural. Es el caso del Río Guachipas (Las Conchas, en su sección sur) y de su principal sistema tributario con predicción de parámetros de calidad de agua con redes neuronales de concentraciones de boro superiores a 10 mg/l.

3.2.3 Flúor

El fluoruro está normalmente presente en condiciones naturales en las aguas subterráneas. El flúor es un elemento esencial, desde el punto de vista de la nutrición humana, ya que es un oligoelemento imprescindible para la formación de huesos y dientes. A pesar de lo expresado, es un elemento claramente tóxico en el que sólo la cantidad de las dosis consumidas diferencia los efectos beneficiosos de los perniciosos. En Argentina, la mayor parte del agua extraída del subsuelo proviene de sedimentos finos de origen eólico, producto de la orogenia andina, ricos en vidrios volcánicos y responsables de los elevados contenidos en arsénico y flúor entre otros elementos, en las aguas superficiales y subterráneas. La concentración de fluoruro en muestras de agua subterránea analizadas en la zona central de la provincia de Chaco se encuentra dentro de un rango que va de 0,05 a 4,2 mg/l (Osicka *et al*., 2002). El Código Alimentario Nacional establece para los fluoruros la cantidad máxima que se da en función de la temperatura promedio de la zona, teniendo en cuenta el consumo diario del agua de bebida (**Tabla 2**).

3.3 Agroquímicos

En Argentina, las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería. A ese respecto, es el tercer productor mundial de soja, quinto de maíz y décimo primero de trigo. Es por ese motivo

Tabla 2. Cantidad máxima de fluoruros en función de la temperatura promedio de la zona

Temp. media anual	Temp. media anual	Contenido límite de flúor	Contenido límite de flúor
°C	°C	Inferior (mg/l)	Superior (mg/l)
10,0	12,0	0,9	1,7
12,1	14,6	0,8	1,5
14,7	17,6	0,8	1,3
17,7	21,4	0,7	1,2
21,5	26,2	0,7	1,0
26,3	32,6	0,6	0,8

que hace un uso muy intensivo de productos agroquímicos, en particular, de fitosanitarios.

En el país, la autoridad que aprueba y regula este tipo de sustancias es el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), dependiente del Ministerio de Agroindustria de la Nación, a través de la Resolución SAGPyA 350/1999 y otras normas complementarias. En la literatura (Mazzarella, 2016) puede verse la forma de clasificación de los productos fitosanitarios según organismo que controla, grupo químico del principio activo y la toxicidad aguda (peligrosidad).

Las leyes nacionales que regulan a los agroquímicos son:

- Ley Nacional N° 18.073/1969 Prohibición de sustancias para el tratamiento de praderas naturales o artificiales y para el tratamiento de algunas especies animales.
- Ley Nacional N° 18.796/1970 Modificación al régimen de plaguicidas.
- Ley Nacional N° 20.418/1973 Tolerancia y límites administrativos de residuos de plaguicidas.

En estas leyes se mencionan los plaguicidas que han sido prohibidos a nivel nacional e internacional, tales como los plaguicidas organoclorados. Cabe destacar que, debido a la relativa antigüedad de estas normativas, surge claramente la necesidad de que sean actualizadas respecto de los plaguicidas que se emplean actualmente (INTA, 2015).

Como se ha mencionado, la producción de granos es la principal actividad económica en el país, de modo que para incrementar la productividad se hace un gran uso de productos agroquímicos. En un relevamiento realizado en 2013 por las dos principales cámaras que comercializan estos productos (CASAFE y CIAFA), se estableció un *ranking* de los 15 fitosanitarios más usados. Los tres más empleados fueron: glifosato, 2,4 D y atrazina. De entre ellos, el glifosato fue ampliamente el más empleado, con 65% en volumen respecto del total.

Según los especialistas nacionales (INTA, 2015), en suelos de la Argentina el potencial de lixiviación (a mayor potencial, mayor movilidad) decrece de la siguiente manera: imazapir > metribuzin > atrazina > glifosato.

En cuanto a la frecuencia de detección de plaguicidas en las cuencas hidrográficas del país, el compuesto que se ha detectado con mayor frecuencia es la atrazina, atribuyéndose a su uso intensivo (es el tercer plaguicida más empleado), debido a su movilidad (potencial de lixiviación) y persistencia.

En cambio, el glifosato y el AMPA (ácido amino metil fosfónico) que es su principal producto de degradación, se encuentran principalmente asociados al material particulado que es arrastrado a las aguas superficiales por las escorrentías y los sedimentos.

Finalmente, en el Código Alimentario Argentino (CAA 2012), de los 26 compuestos orgánicos regulados, 11 corresponden a fitosanitarios.

A pesar de lo expuesto, de los tres más empleados en el país, sólo se menciona el 2,4 D con un límite de 100 µg/L. En ese listado tampoco se mencionan los productos de degradación.

Un aporte relevante al estudio de los plaguicidas en el país es el informe "Niñez y Riesgo Ambiental en Argentina" realizado por la Defensoría del Pueblo de la Nación y el PNUD UNICEF en el año 2010 (DPN, 2010).

El trabajo se propone generar una aproximación al riesgo de contaminación por plaguicidas de cada departamento o municipio del país a partir de la construcción del denominado Índice de Contaminación por Plaguicidas. La metodología utilizada tiene en cuenta la superficie sembrada de cada cultivo en cada departamento, los paquetes de agroquímicos empleados (herbicidas, insecticidas y fungicidas), sus dosis de aplicación y la toxicidad, medida a través de la DL50 oral en ratas.

La metodología para el cálculo del Índice de Contaminación por Plaguicidas (ICP) es una versión simplificada del indicador del denominado Riesgo de Contaminación por Plaguicidas,[3] desarrollado por el Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria del INTA (Viglizzo, 2002).

Del análisis de los datos puede observarse que once departamentos del país presentan un ICP alto a muy alto (concentran 19% del ICP total). Por otra parte, 73 departamentos (14%) poseen un ICP medio. Es importante destacar que los departamentos de estas tres categorías suman casi 60% del ICP acumulado. Los dos departamentos que poseen valores

3. El INTA desarrolló este indicador junto con otros 11, con el objetivo de estandarizar un sistema de monitoreo agroambiental de predios. El indicador original también incluye otros factores referidos a la persistencia y movilidad de los compuestos.

de ICP muy alto son Guaymallén y Maipú, ambos de la provincia de Mendoza. Allí es determinante la gran proporción de superficie sembrada con hortalizas (13 y 11% respectivamente), cultivo cuyo paquete de plaguicidas posee una elevada toxicidad. Adicionalmente, aunque con menos relevancia, hace su aporte al ICP la presencia de frutales de pepita.

Continúan en la lista Rawson (San Juan) y Florencio Varela (Buenos Aires) donde las hortalizas también hacen el principal aporte al ICP, al igual que en Pocito y Santa Lucía (San Juan) y La Plata y Escobar (Buenos Aires). Lo mismo sucede en Córdoba Capital y Gral. Pueyrredón (Buenos Aires), aunque allí también es significativa la presencia de papa y soja en el valor del índice. Sólo en el caso de Rosario, la toxicidad aportada por el cultivo de soja supera a la aportada por las hortalizas, debido al elevado porcentaje de superficie sembrada con esa oleaginosa.

Si se observan los distritos con categoría media (n=73), encontramos a la soja como la principal protagonista en la pampa húmeda, al igual que en varios departamentos de la provincia de Chaco, donde también es relevante el aporte de toxicidad del algodón.

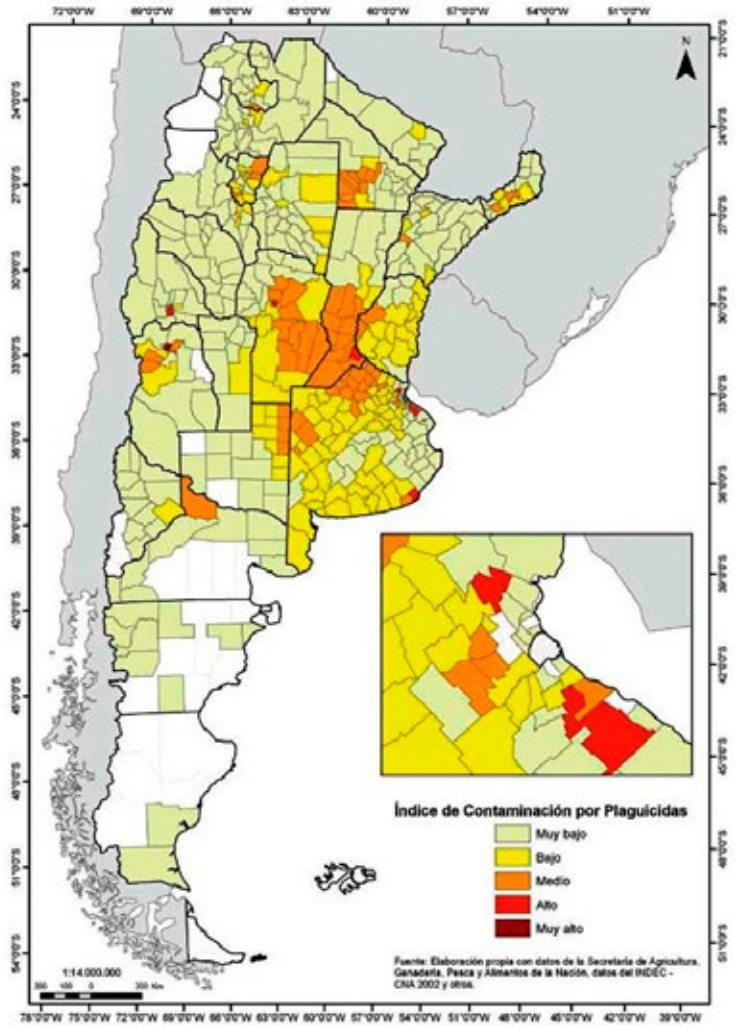
Las hortalizas también se distinguen en otros partidos del conurbano bonaerense (Moreno, Berazategui, Merlo y Marcos Paz), en Gral. Alvarado y en departamentos de otras provincias, como son Santa Fe Capital, El Carmen (Jujuy), Lavalle (Corrientes), Colón (Córdoba), Chimbas (San Juan), Yerba Buena (Tucumán), Leandro L. Alem y Cainguas (Misiones) y Junín, San Martín y Tupungato (Mendoza).

En algunos departamentos de La Pampa es significativo el aporte al ICP del cultivo de forrajeras, como así también lo son los frutales de pepita en Gral. Roca (Río Negro) y Tunuyán (Mendoza), y los cítricos en San Pedro (Buenos Aires) y Yerba Buena (Tucumán).

3.4 Salinización

La salinización y la sodificación de los suelos, conjuntamente con la contaminación de suelos y aguas con agroquímicos, son los principales problemas ambientales asociados al riego, manifestándose en mayor medida en las regiones áridas y semiáridas del país que representan dos tercios de su superficie total.

Figura 6. Índice de contaminación por plaguicidas resultante



Fuente: DPN (2010).

Además de las características propias de los suelos, la salinización puede ser provocada por la composición del agua de riego, por la tasa de aplicación, por el método de riego empleado y por el nivel de la freática.

En las regiones áridas y semiáridas bajo riego, el principal deterioro de los suelos es la salinización, principalmente por efecto de la calidad de las aguas de riego y por el nivel de la freática. En cambio, en las regiones húmedas/semi-húmedas del país la afectación de los suelos es atribuida a la sodificación (Sánchez *et al*., 2016). Cabe destacar que elevados contenidos de sodio en el agua de riego o en el suelo (sodificación) y también el relativamente bajo contenido de calcio respecto del sodio, sue-

len ser los principales causantes de las deficiencias en el drenaje, pues disminuye la infiltración. Ambos fenómenos reducen el rendimiento de los cultivos.

El INTA hace treinta años (INTA, 1986) informó que en ese entonces la superficie total regada en el país era de 15.391.188 ha, de las cuales 3,8 % estaba afectado por salinidad y 3,6 % tenía problemas por deficiencia del drenaje. En ese mismo estudio también se presentaba esta información discriminada por provincia.

Un estudio reciente de la misma institución (Sánchez *et al*., 2016) determinó que, en el país, el porcentaje de superficie regada afectada por estos fenómenos es de 23,5%, localizándose 11,0% en la región NOA, 28,3% en la región de Cuyo, 36% en la región Patagónica y 27% en la regiones Pampeana y NEA.

Teniendo en cuenta la implementación del Plan Nacional de Riego, impulsado por el Gobierno argentino en 2015, cuyo objetivo es alcanzar en el año 2030 los 4 millones de hectáreas regadas (PNA, 2016), se duplicaría la superficie regada actual, con lo que muy probablemente aumentará el deterioro de los suelos por salinización y sodificación.

3.5 Aguas residuales

No está disponible el volumen de aguas residuales producido por los sectores municipales (urbano e industria urbana) e industrial (fuera de las ciudades) porque no existen bases de datos centralizadas y actualizadas que registren este tipo de información. La base de datos SPIDES (Servicio Permanente de Información de Saneamiento), que era operada por el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA), no está accesible desde el año 2005.

Puede realizarse una primera aproximación del volumen de aguas residuales municipales descargado a las redes de alcantarillado considerando que, para el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010, la población era de 40.117.096 habitantes, que 48,8% de las viviendas particulares poseía desagüe cloacal, que había 11.317.507 viviendas particulares, 12.171.675 hogares, que la cantidad de habitantes por hogar era de 3,3 habitantes y que 12,2% de hogares compartía vivienda (INDEC, 2012).

En virtud de lo expuesto, adoptando una dotación promedio para el país de 0,3 m^3/(hab.día) y un factor de reducción de 0,8 (80% del agua abastecida y utilizada es descargada a la red de alcantarillado), el volumen de aguas residuales descargado a la red puede estimarse en unos 1.596 x 106 m^3/año (casi mil seiscientos millones de metros cúbicos anuales).

Como se mencionó anteriormente, no está disponible la información sobre el volumen de efluentes domésticos tratados, cantidad y capacidad de plantas de tratamiento de aguas servidas municipales y tecnologías de tratamiento empleadas. Tampoco sobre el estado de las instalaciones existentes.

La información del año 2000 indica que sólo 10% del volumen total de los efluentes domésticos recolectados por los sistemas de desagües cloacales, eran tratados por un sistema de depuración (Calcagno *et al*., 2000). Según el texto de IANAS (Dagnino Pastore *et al*., 2012), a esa fecha el porcentaje de este tipo de líquidos residuales tratados en plantas depuradoras era del orden de 12%.

La Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DNAPyS) de la SIPH se encuentra elaborando un relevamiento de plantas depuradoras cloacales para poblaciones con más de 10.000 habitantes, con el objetivo de lograr la estructuración de políticas y planes de inversión en el sector del tratamiento de aguas residuales que permita promover la eficiencia en la gestión de los recursos a nivel local y la asignación adecuada de recursos del nivel nacional, asegurando el mayor impacto y la sostenibilidad de las inversiones y la protección del ambiente y la salud pública, dando así cumplimiento a las metas establecidas con los ODS en esta temática.

El proyecto se compone de dos etapas: la primera que será financiada por la CT, consistente en elaborar una base de datos y, luego, arribar a un diagnóstico general sectorial que permita definir un Plan Nacional de Rehabilitación de Plantas Depuradoras. La segunda, financiada por los préstamos vigentes a través de las unidades ejecutoras ENOHSA y PBA, consistente en la ejecución de las obras definidas en la primera etapa.

El censo de plantas depuradoras que actualmente se lleva a cabo desde la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento comprende instalaciones que atienden a poblaciones superiores a 10.000 habitantes. La información recopilada fue suministrada por los interlocutores provinciales ante la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica (SIPH). Hasta el momento se cuenta con 358 registros, según se muestra en la **Tabla 3**.

Los principales sistemas de tratamiento identificados fueron: lagunas de estabilización (62%), barros activados (16%) y lechos percoladores (8%). La **Figura 7** muestra el desagregado correspondiente.

Del total de plantas registrado, existe escasa información sobre su estado de funcionamiento. En la **Tabla 4** se presenta la información relevada hasta el momento.

La sistematización de la información solicitada por la SIPH permitirá tener mayor precisión con respecto al tipo de accesibilidad a cada servicio (agua potable y saneamiento), pudiendo con ello responder a las nuevas exigencias de las escaleras de servicio propuestas por la ODS.

3.6 Enteropatógenos y microorganismos oportunistas en agua ambiente

Otro elemento importante a destacar, dentro de la contaminación proveniente de aguas residuales sin tratar, refiere a la presencia de enteropatógenos (patógenos primarios y patógenos oportunistas) –bacterias y virus– y microorganismos oportunistas de vida libre, lo que representa un riesgo a la salud humana por la exposición a aguas recreativas y a las arenas de playa. El Ministerio de Salud de la Nación ha convocado a un grupo de especialistas para organizar el conocimiento sobre el tema y presentar las Directrices para el Área de Salud Pública (MSN, 2017b) informando sobre los riesgos potenciales para la salud, provenientes de la exposición de las personas a los organismos enteropatógenos (patógenos primarios y patógenos oportunistas) –bacterias y virus– y microorganismos oportunistas de vida libre presentes en aguas dulces y marinas, a través del contacto primario de cuerpo entero y en carácter recreativo (como ejemplo extremo: natación, inmersión, ingestión), así como el contacto con las arenas de playa de la Argentina.

3.7 Deforestación

Los bosques brindan servicios valiosos como asegurar el flujo regular de agua en las zonas lluviosas, lo cual ayuda a moderar los efectos destructivos de las inundaciones y la sequía que ocurren con la tala de los árboles. Cuando se pierde la cubierta del bosque, el agua fluye más rápidamente hacia los arroyos y deja expuestos a los campos agrícolas ante la posible erosión de los suelos productivos. De este modo, los campos de cultivo se deterioran y la población debe invertir en la importación de fertilizantes o talar una extensión adicional de bosque.

La deforestación es uno de los principales problemas ecológicos que enfrenta la humanidad, pues causa la transformación de los territorios boscosos como producto del accionar del hombre. Una de las

Tabla 3. Plantas depuradoras registradas por provincia (a mayo de 2018)

Provincia	Plantas
Buenos Aires	102
San Luis	50
Santa Fe	35
Mendoza	16
Salta	16
Entre Ríos	15
Chaco	13
Córdoba	13
Río Negro	13
Corrientes	11
Neuquén	10
Jujuy	9
Formosa	9
Misiones	8
Tucumán	7
Catamarca	6
Santa Cruz	6
Chubut	5
La Pampa	4
Santiago del Estero	4
La Rioja	3

Fuente: DNAPyS (2018).

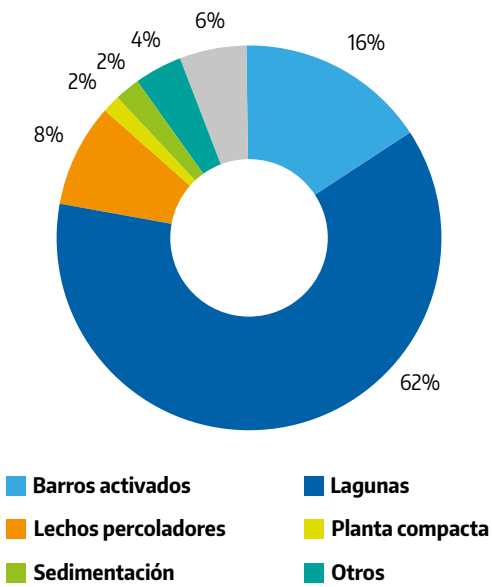
Tabla 4. Estado de las plantas depuradoras registradas (a mayo de 2018)

Estado	Plantas
Bueno	39
Regular	30
Malo	28
N/A	1
S/D	260
Total	358

Fuente: DNAPyS (2018).

principales causas de la deforestación es el avance de la frontera agropecuaria. Esta transformación afecta la dinámica natural de los ecosistemas a diferentes escalas, tanto locales como globales, afectando de forma directa e indirecta la calidad de agua incorporando sedimentos en los cauces de los ríos. En los últimos años en la Argentina, el avance de la frontera agrícola está reemplazando grandes extensiones de bosque nativo, siendo las regiones Parque Chaqueño, Selva Misionera y Selva Tucumano Boliviana las más afectadas. Además de los cultivos agrícolas, las plantaciones forestales también han aumentado su superficie principalmente en las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones. En Argentina el proceso de sojización no tuvo lugar en la provincia de Misiones, donde los procesos de deforestación se dieron más tardíamente. La colonización se dio con el objetivo de poblar la provincia y consolidar las fronteras del país, inicialmente a través de la explotación de los recursos forestales por tala selectiva y el cultivo de la yerba mate. Además, la existencia de grandes extensiones con alta productividad para las actividades agropecuarias, como es la región Pampeana, retardó el desarrollo de éstas en regiones con aptitudes para usos diferentes, como el caso de Misiones con una clara vocación forestal (Guerrero Borges, 2012).

Figura 7. Tipo de tratamiento de plantas relevadas. Mayo de 2018 (%)



Fuente: DNAPyS (2018).

Se han realizado estudios recientes elaborados de manera conjunta por el Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección (LART) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Red Agroforestal Chaco Argentina (Redaf), con el objetivo de brindar información actualizada, accesible y espacialmente explícita sobre los desmontes ocurridos en la ecorregión chaqueña. Los principales resultados a los que arriban dichos estudios refieren a que las tasas de deforestación en esta región se encuentran entre las más altas del mundo y están promovidas principalmente por el avance de la frontera agropecuaria. Este proceso ha generado importantes conflictos territoriales que incrementaron la preocupación y el interés por conservar los bienes naturales y culturales asociados a estos bosques.

La ecorregión Chaco Seco posee una superficie de 787.000 Km^2 y comprende áreas del Noroeste de Argentina (62% del total de la ecorregión), Oeste de Paraguay (22%) y Sudeste de Bolivia (16%). El clima es semiárido y estacional, con altas temperaturas en verano y bajas en invierno. Las precipitaciones alcanzan los 400 mm anuales en la porción central y 1000 mm en los extremos Este y Oeste, concentrándose en el período estival. La vegetación natural predominante corresponde a bosque abierto.

Esta región presenta una alta biodiversidad natural coexistiendo con diversas culturas. Aproximadamente 7,5 millones de personas viven en el Chaco Seco, en donde residen comunidades aborígenes y criollas que desarrollan principalmente una economía de subsistencia que incluye agricultura familiar, pastoreo extensivo, caza y recolección.

4. Conclusiones

En virtud de lo expuesto, se han considerado las principales conclusiones y las acciones que se consideran prioritarias para el país en cuanto a la preservación de los recursos hídricos (tanto en cantidad como en calidad) y la mejora de la calidad de vida de la población.

- Las principales fuentes de contaminación antropogénica, tanto de aguas superficiales como

subterráneas, son los líquidos residuales domésticos e industriales y los producidos por la actividad agrícola-ganadera.
- Los contaminantes más relevantes generados por las actividades humanas son: la materia orgánica, los microorganismos, los macronutrientes, los plaguicidas y los metales pesados.
- Los principales contaminantes de origen natural son el arsénico, el flúor y el boro. El arsénico y el flúor en aguas subterráneas, y el boro en aguas superficiales y subterráneas.
- De los tres, considerando su importancia sanitaria, las concentraciones observadas y su extensión territorial, el arsénico es el contaminante más importante.

Teniendo en cuenta estos aspectos que se resaltan y lo descripto en este capítulo, las acciones en el país que se consideran prioritarias son:
- Alcanzar 100% de cobertura de agua segura.
- Aumentar significativamente la cobertura de red de alcantarillado, incluyendo el tratamiento previo a la descarga en los cuerpos receptores. Estos sistemas de tratamiento debieran incluir el tratamiento y disposición de los lodos generados y, cuando corresponda, la remoción del nitrógeno y/o fósforo.
- Con respecto al arsénico, que se concrete la realización del estudio "Hidroarsenicismo y Saneamiento Básico" de manera tal que las autoridades sanitarias cuenten con la información necesaria que les permita determinar cuál debería ser la concentración máxima admisible de arsénico total en el agua distribuida por red en el país para un determinado nivel de riesgo aceptable, y cuál debería ser su progresividad para alcanzar el límite fijado.
- En cuanto a los contaminantes generados en las actividades industriales, debiera promoverse la minimización en la generación de contaminantes (por ejemplo, a través de la recuperación y el reúso de sustancias empleadas como materias primas) y la minimización del uso de agua en los procesos.
- Según el organismo nacional especializado (INTA, 2015), la Argentina es uno de los países más ineficientes en el uso de herbicidas por tonelada de granos producidos (aproximadamente una tonelada de granos por kilogramo de herbicida, frente a siete toneladas en los EUA). El emplear una mayor cantidad de herbicidas, sin que ello implique una mayor productividad, impactará negativamente sobre el ambiente en general y los recursos hídricos en particular.
- Con los objetivos de preservar las fuentes de agua superficial y subterránea, se hace necesario aprovechar los nutrientes y la materia orgánica presente y emplearlo como método de disposición, así como evaluar y promover el riego (reúso agrícola) con líquidos residuales tratados.

5. Referencias bibliográficas

Álvarez A., Fasciolo G., Barbazza C., Lorenzo F. y Balanza M.E. (2008). Impactos en el agua subterránea de un sistema de efluentes para riego. El Sistema Paramillo (Lavalle, Mendoza, Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.* Tomo XL, N°2, Año 2. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.

Aquastat (2000). *Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO.* Argentina: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Barbeito Anzorena, E. (2001). *Estudio general del caso Campo Espejo del aglomerado Gran Mendoza - República Argentina.* Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS.

Bereciartua, P. (2017) *Los objetivos de desarrollo sostenible y el plan del agua en Argentina. Avances en materia de agua potable, saneamiento y tratamiento de efluentes.* Serie No 1 – AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO. Argentina: Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica.

CAA (2012). *Código Alimentario Argentino*. Capítulo XII. Argentina.

Calcagno A., Mendiburo N. y Gaviño Novillo M. (2000). *Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina.* Argentina: CEPAL-Organización de las Naciones Unidas.

COHIFE (2003). *Principios Rectores de la Política Hídrica en la República Argentina.* Argentina: Consejo Hídrico Federal.

Coppo, R., Jakomin, M., y Delrieux, C. (2017). *Predicción de parámetros de calidad de agua mediante redes neuronales en la cuenca del Río Pilcomayo Argentina.* Argentina: PROIMCA-PRODECA.

Dagnino Pastore J.M. *et al*. (2012). El estado de situación de los recursos hídricos de Argentina: la cuestión del agua, en: Jiménez Cisneros, B. y Galizia Tundisi, J. (Coordinadores), *Diagnóstico del agua en las Américas.* México: Interamerican Network of Academies of Sciences (IANAS).

DPN (2010). *Niñez y Riesgo Ambiental en Argentina.* Maiztegui, C. Delucchi, M. (coordinadores). Buenos Aires: Defensoría del Pueblo de la Nación / PNUD / Unicef Argentina / Organización Panamericana de la Salud / Oficina Internacional del Trabajo. 1ª edición.

Fasciolo G., Meca M.I. y Vélez O. (1998). Uso de efluentes domésticos para riego en zonas áridas. El Caso Mendoza. Argentina: AIDIS.

FAO-PROSAP (2015). *Desarrollo Institucional para la Inversión: Estudio del Potencial de Ampliación del Riego en Argentina.* (UTF/ARG/017/ARG). Argentina: FAO.

Guerrero Borges, V. (2012). *Deforestación y fragmentación de la selva misionera: estrategias y herramientas para el diseño del paisaje Caso de estudio Colonia Andresito.* Tesis de Máster en Ciencias del Territorio. Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

INCyTH (1994). *Balance hídrico de la República Argentina: Memoria descriptiva.* Argentina: Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano / Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas / UNESCO / Programa Hidrológico Internacional (PHI).

INDEC (2007). *Censo Nacional Agropecuario 2002. Total del país. Resultados definitivos.* Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos.

INDEC (2012). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Censo del Bicentenario. Resultados definitivos.* Serie B N°2. Tomo 1. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos.

INTA (1986). *Documento básico para programa de riego y drenaje.* Disposición D.N. Nº 314/85. Argentina. 94 pp.

INTA (2015). *Compiladores varios. Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente.* Argentina: Ediciones INTA.

Mazzarella D. (2016). *Residuos de productos fitosanitarios: Criterios regulatorios locales e internacionales.* Serie de Informes Especiales ILSI, Vol. IV. Argentina.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2017). Resolución 249-E/2017. Argentina: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

Ministerio de Salud de la Nación (2017a). *Cianobacterias como determinantes ambientales de la Salud.* Argentina.

Ministerio de Salud de la Nación (2017b). Directrices sanitarias para enteropatógenos y microorganismos oportunistas en agua ambiente. Argentina.

Municipio de Puerto Madryn (2006a). Ordenanza N° 6.301/2006. Reúso de efluentes cloacales tratados. Argentina.

Municipio de Puerto Madryn (2006b). *Reúso de efluentes cloacales tratados.* Anexo I. Argentina.

ODM (2010). *Objetivos de Desarrollo del Milenio.* Rendición de Cuentas 2010. República Argentina. Proyecto PNUD/ARG/04/046. Argentina: Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales / Presidencia de la Nación / Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

OMS-UNICEF (2017). "Progress on drinking water, sanitation and hygiene". En línea: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258617/9789241512893-eng.pdf;jsessionid=749EDF5258B6CA28B20828164BEADA7F?sequence=1

OMS (2015). Informe 2015 del PCM: datos esenciales. Organización Mundial de la Salud.

ONU (2002a). Resolución aprobada por la Asamblea General 55/2. Organización de las Naciones Unidas.

ONU (2002b). *Objetivos de Desarrollo del Milenio.* Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. Meta 7.C: Reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento. Organización de las Naciones Unidas.

ONU (2003). Resolución 58/217. Decenio Internacional para la Acción, "El agua, fuente de vida", 2005–2015. Organización de las Naciones Unidas.

ONU (2010). Resolución 64/292. El derecho humano al agua y el saneamiento. 108a Sesión Plenaria, 28 de julio de 2010. Organización de las Naciones Unidas.

ONU (2017). *Objetivos de Desarrollo Sostenible, 17 Objetivos para transformar nuestro mundo.* Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Organización de las Naciones Unidas.

Osicka R, Agullo N.S., Herrera Ahuad C.E., Giménez M.C. (2002). *Evaluación de las concentraciones de fluoruro y arsénico en las aguas subterráneas del Domo Central de la Provincia del Chaco.* Cátedra de Química Analítica General. Chaco: UNNE, Facultad de Agroindustrias.

Pochat V. (2005). *Entidades de gestión del agua a nivel de cuencas: experiencia de Argentina.* Serie Recursos Naturales e Infraestructura N°96. Santiago de Chile: CEPAL-Organización de las Naciones Unidas.

Proyecto PNUD/ARG/12/019 (2015). *Informe Final. Objetivos de Desarrollo del Milenio.* Argentina: Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales / Presidencia de la Nación / Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Rodríguez A. *et al*. (2008). *Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos.* Buenos Aires: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.

Ruibal Conti AL, Guerrero JM, Regueira JM (2005). Levels of microcystins in two Argentinean reservoirs used for water supply and recreations: differences in the implementation of safe levels. *Environmental Toxicology,* vol. 20, 263-269.

Sánchez R.M. *et al*. (2016). *Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina.* Argentina: Ediciones INTA.

SDSyPA (2002). *Segundo Informe Nacional para la Implementación de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.* Argentina: Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental de la República Argentina.

SIPH (2017). *Guía de Indicadores e índices de desempeño para prestadores de Agua y Saneamiento.* Argentina: Subsecretaría de Recursos Hídricos-Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento.

SIPH (2018a). *Informe del país. Objetivos de Desarrollo Sostenible.* Meta 6.4. Argentina: Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal.

SIPH (2018b). *Informe País. Objetivos de Desarrollo Sostenible.* Meta 6.3.2. Argentina: Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2017). *Plan Nacional del Agua.* Argentina: SRHN.

Viglizzo, E. F., Pordomingo, A.J., Castro, M.G. y Lértora, F.A. (2002). La sustentabilidad ambiental del agro pampeano. Buenos Aires: INTA. ISBN 9789875210523

White C. (2012). *Understanding water scarcity. Definitions and measurements.* Water Security, Global Water Forum.

Bolivia

La calidad del agua potable en **Bolivia** tiene gran variabilidad reflejada en sus seis provincias fisiográficas. Por las considerables diferencias socio-económicas y culturales, la calidad del agua es analizada en tres ámbitos: el urbano, que se refiere a las grandes ciudades, las ciudades intermedias, y el rural con sus dispersas pequeñas poblaciones y comunidades. La Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico es la entidad oficial fiscalizadora que aplica las normas y reglamentos sobre la calidad de las aguas. Éstos no siempre son cumplidos, lo que genera resultados limitados y calidad de agua potable diversa.

Parque Nacional Sajama, con el volcán Parinacota y el Pomerape de fondo, Bolivia, © iStock

Calidad del agua potable en Bolivia

Fernando Urquidi-Barrau y Carlos D. España Vásquez

Resumen

La calidad del agua potable en Bolivia tiene gran variabilidad que se refleja en las seis provincias fisiográficas del país. A su vez, por las considerables diferencias socio–económicas y culturales, la calidad del agua debe ser también analizada en tres ámbitos: el urbano, correspondiente a las grandes ciudades (Eje Central), las ciudades intermedias y el rural, con comunidades agrícolas y pequeñas poblaciones dispersas. Además, la calidad del agua potable está estrechamente relacionada con el saneamiento local y el cuidado y protección de las fuentes de agua. Existe un ciclo problemático –y no resuelto– con las descargas de las agua residuales y su tratamiento en los tres ámbitos.

La provisión de agua de calidad apta para el consumo humano es una de las tareas gubernamentales. El Estado afronta el desafío de equilibrar la oferta y la demanda del recurso agua; desafío especialmente crítico gracias al desbordante incremento poblacional de algunas ciudades debido a la migración interna en búsqueda de mejores perspectivas de vida.

La Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) es el ente fiscalizador de la calidad del agua para el consumo humano y el saneamiento. Esta autoridad manifiesta que se están haciendo los esfuerzos para alcanzar objetivos de efectivo control de la calidad de las aguas de consumo en el país con aplicación de normas y reglamentos. Lamentablemente, en la práctica, aquéllos no son siempre aplicados completamente.

1. Disponibilidad hidrológica en el territorio boliviano

Es importante considerar la gran variabilidad en la disponibilidad hidrológica del país. De acuerdo con el promedio nacional, existe una abundante disponibilidad de flujo de agua pero, debido a su distribución asimétrica, existen muchos retos tanto en regiones donde se evidencia escasez como en otras donde existen frecuentes inundaciones en la época de lluvias. En efecto, las cuatro macro-cuencas de Bolivia muestran diferencias importantes de precipitación: mientras que la Macrocuenca Amazónica recibe 1,814 mm/año, la Macrocuenca del Río de la Plata recibe 854 mm/año, la Macrocuenca Endorreica tiene un promedio de 421 mm/año y, la más pequeña de las cuatro, la Macrocuenca del Pacífico tan sólo un promedio de 59.1 mm/año (Urquidi, 2015). Por lo tanto, esto impone desafíos en la gobernabilidad hídrica.

Fernando Urquidi-Barrau ferurquidi@gmail.com Coordinador del capítulo. Ph.D., Ingeniero Geólogo, Miembro de Número de la Academia Nacional de Bolivia y Vicepresidente de la Academia Nacional de Bolivia. Punto focal del Programa de IANAS para Bolivia. **Carlos D. España Vásquez** Dipl Eng., Ingeniero Civil - Sanitario. Docente Investigador del Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Estas condiciones hidrológicas causan que exista una mayor proporción de uso del agua superficial para consumo humano, aunque también se ha incrementado el uso de agua subterránea para el mismo fin. En todo caso, tanto las aguas superficiales como las subterráneas requieren de monitoreo y medición periódicos y sostenidos para controlar su cantidad y, sobre todo, su calidad para evitar posibles efectos negativos sobre la salud de la población y del medio ambiente.

Existe un creciente consenso con respecto a que la mejor manera de garantizar agua apta para consumo humano se alcanza mediante la protección y el control de las fuentes de agua. Para evitar puntos de contaminación aledañas, se debe atender no sólo el punto donde se realiza la extracción de agua superficial o subterránea, sino proteger la micro-cuenca, la zona de recarga y el área de influencia directa de la obra de captación (ver **Figura 1**).

En este contexto, la detección de posibles fuentes de contaminación es más visible y evidente en las aguas superficiales, lo que posibilita tomar medidas preventivas o correctivas. Mientras que en el caso del agua subterránea, la contaminación avanza sin que se pueda visualizar y se requieren estudios para determinar la fuente y características de la contaminación. Asimismo, los procesos de descontaminación requieren acciones de largo plazo que pueden obligar, inclusive, a abandonar la fuente local de abastecimiento de agua.

En este último quinquenio (2013-2018), los sectores de agua potable y saneamiento y de salud ven la necesidad de proteger los recursos hídricos y la salud a través del control de la calidad del agua potable y su saneamiento, el control de la calidad de las aguas residuales, en especial a partir de un adecuado tratamiento orientado principalmente al reúso del agua con fines agrícolas.

Como se puede apreciar en la **Figura 2**, el territorio boliviano tiene un relieve muy variado y gran diversidad de eco-sistemas que han permitido la división de grandes zonas o provincias fisiográficas, con una hidrología e hidrogeología determinadas, que serán analizadas brevemente a continuación. Esta figura muestra, además, las nueve capitales Departamentales de Bolivia.

De occidente a oriente, éstas son las zonas de las provincias fisiográficas:

I. Provincia Fisiográfica de la Cordillera Andina Occidental
II. Provincia Fisiográfica del Altiplano Boliviano
III. Provincia Fisiográfica de la Cordillera Andina Oriental
IV. Provincia Fisiográfica del Subandino
V. Provincia Fisiográfica de las Llanuras Chaco – Benianas
VI. Provincia Fisiográfica del Escudo Brasileño

Cada provincia fisiográfica tiene características específicas sobre la disponibilidad de la cantidad y la calidad de las aguas en las fuentes (datos obtenidos del Balance Hídrico Superficial de Bolivia, 1992). Sin embargo, la información sobre la calidad del agua es casi inexistente o no está publicada.

Figura 1. Mapa de normal precipitación y áreas de EPSA por categoría

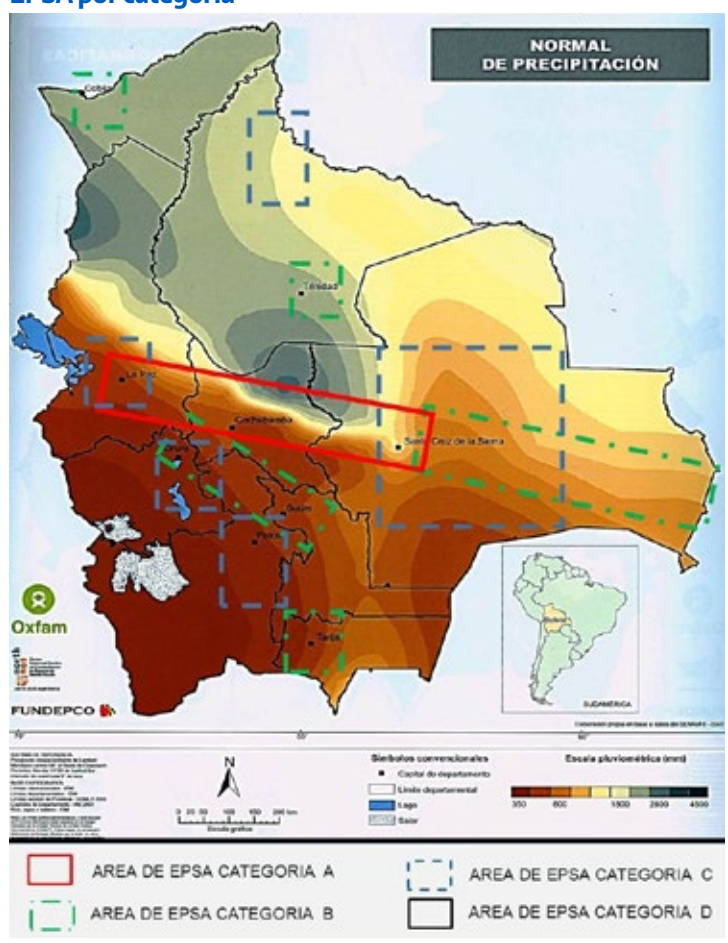
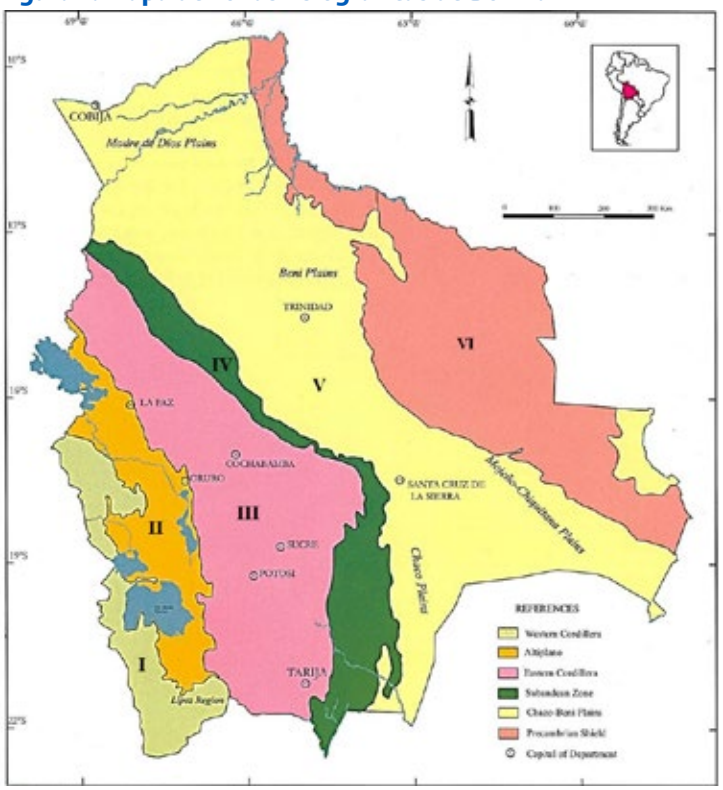


Figura 2. Mapa de zonas fisiográficas de Bolivia



I. Provincia Fisiográfica de la Cordillera Andina Occidental

Esta provincia tiene una extensión aproximada de 43,000 Km^2 y abarca una franja que cubre completamente toda la frontera con Chile y parte de la frontera Sur con el Perú. Sus condiciones climáticas son desérticas, por lo que es la menos poblada y con un limitado desarrollo en la agricultura. Tiene una diferencia orográfica de 3,900 a más de 4,500 metros sobre el nivel del mar (msnm) con una precipitación anual menor a 200 mm. Tiene un caudal específico de 0 a 10 $lt.s^{-1}.Km^{-2}$.

La mayoría de los habitantes de esta provincia fisiográfica se abastecen de agua a través de pozos artesianos poco profundos excavados o construidos dentro o alrededor de sus propiedades. Otra fuente de agua son los bofedales de altura que almacenan agua subterránea no salina y son también utilizados para alimentar y proveer agua a sus hatos de camélidos (llamas y alpacas). La contaminación hídrica es casi inexistente y está limitada a antiguos trabajos mineros.

II. Provincia Fisiográfica del Altiplano Boliviano

Esta provincia fisiográfica es una cuenca endorreica intermontana ubicada a 3,680 y 4,000 msnm y entre las dos cordilleras andinas Oriental y Occidental. Los principales componentes hidrológicos, los lagos Titicaca, Poopó y Uru Uru, están conectados por el río Desaguadero. El lago Titicaca es un gran lago de agua dulce en el Norte del Altiplano y los otros dos lagos son de agua salada en el Sur. Están complementados, en el extremo meridional, por dos grandes espectaculares salares: Uyuni y Coipasa. Estos asombrosos productos de la naturaleza se desarrollaron en varios episodios lacustres relacionados con fuertes cambios climáticos ocurridos desde el Pleistoceno Inferior al Cuaternario Actual (Argollo & Mourguiart, 1995: 360).

La provincia tiene una extensión aproximada 1,000 Km de largo y 120 Km de ancho promedio con un área estimada de 120,000 Km^2. La precipitación anual varía de menos de 200 a 800 mm, con una clara tendencia de disminución de Norte a Sur por lo que el clima se va haciendo más árido y la salinización más intensa (Cardozo, A. *et. al.*, 2004). El Altiplano está sujeto a la influencia de masas de aire caliente de la cuenca amazónica y de masas de aire frío provenientes del Sur, las que en invierno y parte del otoño causan olas de frío con la condensación de la poca humedad existente. Tiene un caudal específico de 0 a 10 $lt.s^{-1}.Km^{-2}$.

La calidad del agua en el Altiplano Boliviano es muy variable y presenta problemas claramente diferenciados. Por ejemplo, en el Norte, gracias al lago Titicaca, no existen problemas hidrológicos, a no ser la eutrofización de algas en la bahía de Puno (Perú), causada por los efluentes de aguas residuales no depurables de esa ciudad y, en menor escala, en la ciudad menor de Copacabana (Bolivia). Por otro lado, las aguas superficiales de los ríos del Altiplano Boliviano no son aptas para consumo humano por su alto contenido de metales pesados y contaminación natural de arsénico y boro (INTESCA, AIC & CNR, 1993).

El Altiplano Norte está, en cierto modo, densamente poblado; con muchas poblaciones y ciudades menores alrededor del Lago Titicaca y a lo largo de las carreteras entre las ciudades de El Alto y Patacamaya. Asimismo, hay poblaciones importantes en el Altiplano Centro donde existen varias ciudades

menores y muchos pueblos más pequeños menos poblados. Varios campamentos mineros y la ciudad capital de Oruro abastecen sus necesidades de agua potable a través de aguas subterráneas. El Altiplano Sur es la región menos poblada del país, y la más seca y árida con precipitaciones menores a 100 mm/año; a veces, no recibe lluvia durante todo el año. El lago Poopó tiene una alta contaminación de 25,000 mg/lt de salinidad y altos contenidos de metales pesados derivados de las colas y relaves mineros desechados hace muchos años por la minería estatal y privada.

III. Provincia Fisiográfica de la Cordillera Andina Oriental

Esta provincia fisiográfica está constituida por macizos andinos con alturas de 2,000 a más de 4,500 msnm y cubre una superficie aproximada de 240,000 Km^2. Tiene una precipitación anual de 500 a 2,000 mm y un caudal específico de 50 $lt.s^{-1}.Km^{-2}$. Cinco capitales departamentales se encuentran ubicadas en esta provincia, así como un buen número de ciudades grandes y medianas. La tradicional industria minera de óxidos y sulfuros se encuentra ubicada en esta provincia y los flujos superficiales están altamente contaminados por los pasivos y desechos mineros de colas, relaves y otros dejados por la industria (ver **Fotografías 1a y 1b**).

En la Provincia Fisiográfica de la Cordillera Andina Oriental reside un alto porcentaje de la población boliviana, por lo que tiene la más alta contaminación antrópica. Sin embargo, la contaminación fluvial es parcialmente asistida por su rápido flujo de descenso hacia los llanos y la alta radiación solar debidos a la altura. Su mayor problema radica en que estas aguas son usadas sin tratamiento en proyectos de irrigación de parcelas agrícolas de hortalizas y legumbres, así como en el abastecimiento de agua consumida como potable en las pequeñas poblaciones río abajo.

Fotografía 1a. Contaminación de desechos mineros en la localidad de Poopó

Fotografía 1b. Mostrando apreciable contaminación en la ciudad de Potosí, vista hacia el Cerro Rico de Potosí

IV. Provincia Fisiográfica del Subandino

Es una franja de una superficie aproximada de 120,000 Km^2 y 100 Km de ancho promedio entre la Cordillera Andina Oriental y la Llanura Chaco Beniana, con una orografía oscilando entre los 500 a los 4,000 msnm. Tiene una precipitación entre 500 a 3,000 mm anual y un caudal específico de 0 a 50 $lt.s^{-1}.Km^{-2}$. La calidad del agua es de regular a buena, recibiendo agua de los deshielos y lluvias del flanco oriental de la Cordillera Andina Central y Oriental. La capital Sucre y varias otras ciudades grandes y medianas que se encuentran ubicadas en esta provincia, se abastecen de aguas superficiales y subterráneas variando en su calidad, pero ninguna es completamente potable.

V. Provincia Fisiográfica de las Llanuras Chaco Benianas

Esta provincia tiene una superficie aproximada de 462,000 Km^2 y puede dividirse en dos sectores: Norte de aproximadamente 323,000 Km^2 y Sur de aproximadamente 139,000 Km^2. El sector Norte tiene una orografía casi plana con serranías de baja altitud y constante entre 115 a 250 msnm. El sector Sur se encuentra entre los 250 a 1,000 msnm. La precipitación anual varía en el sector Norte entre 1,600 a 5,000 mm, y en el sector Sur en 600 a 1,500 mm que son altamente influenciadas por las masas de aire caliente de la cuenca amazónica. El caudal específico en el Norte es de 10 a 50 lt.s-1.Km-2 y en Sur de 0 a 10 lt.s-1.Km-2.

Fotografía 2. Lavado típico de ropa a orillas del río Beni

Fotografía 3. Medio de transporte en el río Mamoré

En esta provincia se encuentra la denominada Amazonía Boliviana que es una región de interés a nivel mundial, porque contiene el mayor bosque tropical y la mayor diversidad biológica del planeta. Hidrográficamente abarca la Macro Cuenca del Amazonas en Bolivia con sus cuencas, sub-cuencas y micro-cuencas.

La población de esta provincia depende del agua ribereña (sin control de calidad) y de la precipitación pluvial para la agricultura y la industria ganadera. La excepción es la ciudad de Santa Cruz de la Sierra con buena agua potable subterránea, aunque su calidad es de agua dura, que abastece a una población sobre el millón de habitantes.

La contaminación en el Norte de la provincia está centrada en los complejos problemas ambientales y sociales de la cuenca media y baja del Arroyo Bahía. Afronta deforestación en la cuenca alta y media que ha ocasionado la pérdida de más de la mitad de la cobertura boscosa de las nacientes del Arroyo Bahía. Esto ha facilitado el proceso de erosión, la sedimentación y la colmatación de los arroyos que afectan la calidad y cantidad del agua disponible para la población de la ciudad capital de Cobija (Fundación Natura Bolivia, 2010). Adicionalmente, se encuentra contaminación causada por la explotación ilegal de oro con el uso de mercurio, y que es encontrado en ríos y que es muy difícil de evitar y eliminar.

VI. Provincia Fisiográfica del Precámbrico o Escudo Brasilero

Es un área muy extensa que cubre toda la región de la frontera con Brasil. Tiene una superficie aproximada de198,000 Km^2 y una orografía que oscila entre 115 a 250 msnm. Su precipitación está entre 1,200 a 1,700 mm anual y su caudal específico es de 0 a 20 lt. Su limitada población se abastece de los numerosos cursos fluviales que presentan problemas con la contaminación de las aguas de los ríos derivadas de las ciudades y población andina aguas arriba. Tiene un alto riesgo en cuanto a la salud, incluyendo la malaria, fiebre amarilla y otras causadas por picaduras de mosquitos, así como las relacionadas con la ingestión.

En el Sur de la provincia, la morfología es de bloques fallados con declive suave. Hidrológicamente, esta área es altamente influenciada por el valle de Tucavaca por donde circula el Ferrocarril Santa Cruz-Puerto Suárez y aloja las ciudades de San José de Chiquitos y Roboré (Proyecto Precámbrico, 1994).

2. Importancia de la calidad del agua como derecho humano

En julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas emitió la Resolución A/RES/64/292 reconociendo oficialmente, y por vez primera, el derecho humano al agua y al saneamiento de la misma, enfatizando que ambos son necesidades esenciales y fundamentales para la sana supervivencia de la humanidad. A su vez, el Estado Plurinacional de Bolivia, en la nueva Constitución Política del país del 25 de septiembre de 2009 en el Capítulo Segundo, Artículo 16, señala: *"I. Toda persona tiene derecho al agua y a la alimentación". "II. El Estado tiene la obligación de garantizar la seguridad alimentaria a través de una alimentación sana, adecuada y suficiente para toda la población"*. Con base en estos dos postulados, el Estado promociona el acceso al agua potable y su saneamiento como un derecho esencial de los bolivianos.

Sin embargo, la población del Estado Plurinacional de Bolivia no tiene optimizado el abastecimiento de agua potable, incluyendo su calidad con seguridad bacteriológica, especialmente en el contexto rural. La cobertura de agua potable y saneamiento del país va en progresivo incremento, pero no al ritmo de la demanda creciente de la población. La calidad del agua potable a nivel nacional es baja, incluso comparándola con el contexto sudamericano actual.

La baja cobertura y/o la inexistencia de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales originan que éstas se descarguen en cuerpos de flujos superficiales. Lo que se evidencia con la presencia de aguas contaminadas en casi todas las ciudades y en la mayoría de las poblaciones rurales bolivianas. Esta gran deficiencia es una permanente amenaza a la salud de la población, y se traduce en tasas considerables de enfermedades de origen hídrico con sub-registros estadísticos. A pesar de esta realidad, las coberturas mejoraron y aumentaron muy lentamente en los últimos 15 años gracias a inversiones estatales y a la importante asistencia internacional en el sector.

Factores politicos y sociales han contribuido al debilitamiento de las instituciones y de los prestadores de servicio de agua potable, por los que éstos no ofrecen un servicio óptimo de suministro de agua para consumo humano en los nueve departamentos y, sobre todo, en los ámbitos de las ciudades intermedias y las comunidades rurales. Es importante señalar que, en ese mismo lapso de tiempo, Bolivia ha experimentado el fracaso de dos privatizaciones de prestadores de servicios con concesiones a empresas privadas extranjeras y el casi inmediato retorno al Estado de estos servicios de provisión y saneamiento del agua en dos importantes capitales departamentales: Cochabamba y La Paz. Sin embargo, en Santa Cruz de la Sierra, la segunda ciudad más importante del país, el sistema de distribución y saneamiento privado se realiza a través de una cooperativa privada con éxito relativo, comparado con los sistemas de las otras ciudades capitales e intermedias.

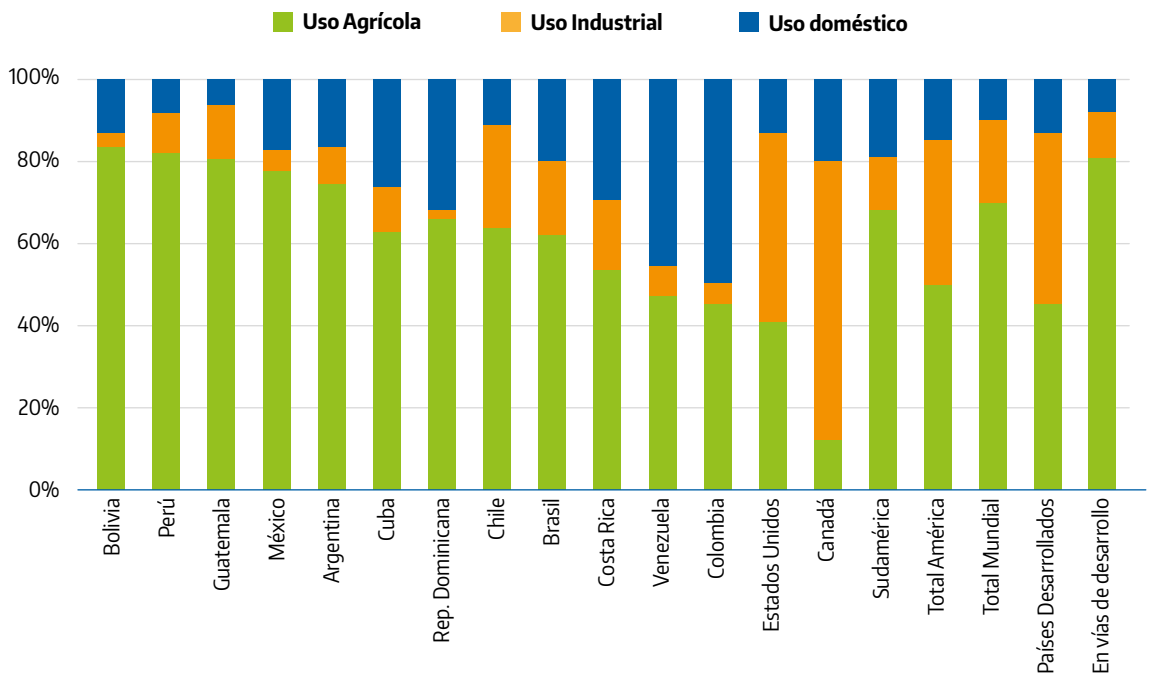
La mayor preocupación nacional continúa siendo el suministro o abastecimiento de agua necesaria para diversos usos, obviando ostensiblemente la calidad de la misma. En el ámbito rural, el mayor uso del agua está en la agricultura (ver **Figura 3**), en especial en el riego (ver **Tabla 1**). Pero para este uso no se considera la calidad o la mayor o menor contaminación del agua sino su condición química, es decir, que no sea agua salada (clorurada y/o sulfatada-sódica). Para la agricultura, se usan aguas superficiales de ríos, lagunas y lagos.

La contaminación de las aguas es un problema medio ambiental y de salud muy importante porque afecta negativamente la calidad de vida de toda la población. En Bolivia, muchos ríos, lagunas, lagos y las aguas subterráneas localizadas cerca de las principales ciudades, y que las abastecen, están empezando a contaminarse. Gran parte del sistema de distribución de agua potable y evacuación de aguas residuales tiene considerable antigüedad y desgaste. Las principales barreras o brechas están relacionadas con la pobre cobertura de sistemas de alcantarillado y tratamiento de agua residual. Por lo tanto, desperdicios y agua residual son lanzados

a los flujos y cuerpos de agua superficial, con poco o ningún tratamiento, ocasionando su contaminación. Esto provoca permanentes problemas de mantenimiento y operación para los operadores de los servicios y los municipios.

Una tarea adicional es la implementación del manejo de excretas y residuos sólidos. Pese al mejoramiento del sistema de recolección urbano de residuos sólidos, los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial se ven afectados por la presencia de residuos vertidos principalmente en las zonas periféricas; ésa es la primera causa de contaminación en el país seguida por la actividad minera e industrial. Esto afecta tanto los cursos y almacenamientos superficiales, como los acuíferos que sirven para suministrar agua potable.

Figura 3. Evaluación global del suministro de agua y saneamiento



Fuente: Global Water Supply and Sanitation Assesment. Report 2012

Tabla 1. Sistemas de riego, usuarios y área regada por departamentos

Departamento	Sistemas		Usuarios		Area Regada	
	Numero	%	Familias	%	Hectareas	%
Chuquisaca	678	14.5	17,718	8.1	21,168	9.4
Cochabamba	1,035	21.9	81,025	37.6	87,534	38.6
La Paz	961	20.3	54,818	25.1	35,993	15.9
Oruro	372	6.6	9,934	4.6	14,039	6.2
Potosí	956	20.2	31,940	14.7	16,240	7.2
Santa Cruz	232	4.9	5,865	2,6	15,239	6.7
Tarija	550	11.6	15,975	7.3	36,351	16.0
Total	**4,724**	**100.0**	**217,975**	**100.0**	**226,564**	**100.0**

Fuente: MAGDR – DGSR – PRONAR, 2015.

Tabla 2. Categorización de EPSA según población

Categorías	Población	Territorialidad
EPSA Categoría A	Mayor a 500.000 habitantes	Eje troncal del país (ciudades de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz de la Sierra).
EPSA Categoría B	Entre 50.000 y 500.000 habitantes	Ciudades capitales Departamentales, áreas periurbanas y otras ciudades mayores
EPSA Categoría C	Entre 10.000 y 50.000 habitantes	Ciudades intermedias
EPSA Categoría D	Entre 2.000 y 10.000 habitantes	Ciudades y/o Municipios menores
Registros	Menor a 10.000 habitantes o EPSA de constitución indígena originaria campesina	Área rural

Fuente: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas, 2016.

3. Entidades responsables del sector agua potable y saneamiento

La responsabilidad y formulación de políticas gubernamentales para el sector de agua y saneamiento corresponde al Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), creado en 2009, el cual está constituido por tres Viceministerios:

- Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB)
- Viceministerio para el Medio Ambiente y el Cambio Climático (VMACC)
- Viceministerio para Recursos Hídricos y el Riego (VRHR).

Desafortunadamente, los ministros del MMAyA fueron cambiados frecuentemente, en algunos casos en menos de un año. La estructura ministerial también estuvo sujeta a cambios frecuentes.

El MMAyA, por mediación del VAPSB, es el administrador en la formulación y actualización de la política de los recursos hídricos, así como el diseñador e implementador de enfoques programáticos, proyectos y acciones para garantizar que el agua suministrada a la población boliviana sea suficiente y apta para consumo humano.

El VRHR es el encargado de contribuir al desarrollo y ejecución de planes, políticas y normas relativas al Manejo Integral de Cuencas. La Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) y las Entidades Territoriales Autónomas (ETA) son las instancias de articulación para el cumplimiento de dichas políticas.

La regulación y asistencia técnica nacional de las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (EPSA) está al cargo de una importante agencia gubernamental: la AAPS. Esta agencia es la que otorga licencias de servicios y establece los principios para controlar la calidad de los servicios, con base en las Guías para la Calidad del Agua Potable; a su vez, fija precios, tarifas, tasas y cuotas de los servicios. La AAPS también recibe las quejas y observaciones de los usuarios.

Las Guías para la Calidad del Agua Potable, supervisadas por la AAPS, son documentos de acceso público, donde queda remarcada la interrelación entre la calidad del agua y la salud. Por eso, señalan que *"las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua tienen una gran repercusión en la salud de las personas. Las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos para la salud".* Bolivia elabora sus normas y reglamentos, basados en las Guías OPS-OMS, y los contextualiza con los estándares y normas de los países vecinos y los países que presentan características socio-económicas similares a su población y que tienen las mismas características geográficas (macro-pisos ecológicos: Cordillera Andina, Altiplano Boliviano, Valles y Llano Chaco-Amazónico).

Otra de las competencias de la APPS es la otorgación de derechos de uso y de aprovechamiento de fuentes de agua para consumo humano y de prestación de servicios de agua potable y de saneamiento básico a las EPSA, bajo el régimen de Licencias y Registros de acuerdo con los criterios de población y territorialidad que son detallados en la **Tabla 2**.

La **Tabla 3** muestra el tipo de administración de las EPSA que operan en las nueve ciudades capitales departamentales, al cual la APPS le dio licencia para otorgar derechos de uso y de aprovechamiento de fuentes de agua para consumo humano y de prestación de servicios de agua potable y de saneamiento básico. También se indican las fuentes de suministro de agua.

Con la otorgación de Licencias y Registros por la APPS a nivel nacional (ver **Tablas 10 y 11**) se busca garantizar la seguridad jurídica en la prestación de servicios de agua potable y saneamiento, y sobre las fuentes de agua, la infraestructura, las inversiones, incluyendo el área de prestación de servicios.

Por su parte, el Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambio Climático y de Gestión y Desarrollo Forestal (VMABCCGDF) es la autoridad encargada de velar por el uso sostenible de los recursos naturales, incluyendo la protección y conservación del medio ambiente, así como de normar, prevenir y controlar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas de agroquímicos y desechos industriales, así como de controlar la deforestación y promover la reforestación.

Bolivia tiene un Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico (PSD-SB) que es el instrumento sectorial dentro del Plan Nacional de Desarrollo (PND). Fue actualizado para el quinquenio 2011-2015 y, desde entonces, se continúa con este plan. El PSD-SB establece y sienta las bases de un compromiso entre los niveles nacionales, departamentales y locales para lograr un incremento sustancial de acceso a los servicios sostenibles de agua potable y saneamiento básico, en el marco de una Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) del país. Además, establece la gestión participativa y respon-

Tabla 3. Tipo de administración y caudal ofertado en las Ciudades Capitales Departamentales

Ciudad	Epsa/Compañia	Suministro De Agua	Flujo (Lt/Seg)
La Paz / El Alto	EPSAS S.A. (Compañía S.A. de propiedad mixta. El Estado tiene acciones en la compañía)	8 fuentes superficiales de agua de lluvia y deshielo: Tuni, Condoriri, Huayna Potosí, Milluni, Choqueyapú, Incachaca, Ajan Khota, Hampaturi Bajo. Sistema Tilala (37 pozos de agua de 90 m de profundidad)	Rango: 2,011-3,000
Santa Cruz	SAGUAPAC (Cooperativa)	Agua subterránea	Rango: 347-2,067
	Nueve (9) Cooperativas pequeñas privadas	Fuentes superficiales	722
Cochabamba	SEMAPA (Compañía Municipal)	Fuentes superficiales: Escalerani, Wara Wara, Hierbabuenani y Chungara	Rango: 191-404
		Agua subterránea: Quillacollo	462
Sucre	ELAPAS (Compañía Municipal)	Fuentes superficiales: Sistema de Cajamarca que incluyen los ríos Cajamarca, Safiri, Punilla	80
		Fuentes superficiales: Sistema Ravelo que incluyen los ríos Ravelo, Peras Mayum Jalaqueri, Murillo y Fisculco	390
Oruro	Servicio Local de Acueductos y Alcantarillado – SeLA (Compañía Municipal)	Fuentes superficiales: Ríos Sepulturas y Huayña Porto	34
		Agua subterránea (Challa Pampa, Challa Pampita y Aeropuerto)	528
Potosí	AAPOS (Compañía Comunal)	Fuentes superficiales: río San Juan y 21 lagunas (Khari, Tarapaya, Irupampa, Illimani, Challuna)	220
Trinidad	COATRI (Cooperativa)	Agua subterránea	118
Tarija	COSAALT (Cooperativa)	Fuentes superficiales: Ríos: Rincón, La Victoria, Guadalquivir y San Jacinto	574
		Agua subterránea	279
Cobija	COSAPCO (Cooperativa)	Fuentes superficiales: Arroyo Bahía	24

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por las operadoras de servicios.

sable de las entidades prestadoras de servicios básicos, públicos y privados, para garantizar la sostenibilidad y el carácter no lucrativo de los mismos. Promueve la participación de los usuarios, la transparencia, la equidad y la justicia social, respetando y apoyando a los sistemas comunitarios de comunidades campesinas e indígenas. Apoya las gestiones de los proveedores de servicios, incluyendo las EPSA urbanas, periurbanas y rurales, las Cooperativas Prestadoras de Servicios y las Asociaciones de Prestadores de Servicios, en el marco de las garantías jurídicas del acceso a las fuentes de agua.

El Servicio Nacional de Apoyo a la Sostenibilidad en Saneamiento Básico (SENASBA) tiene como responsabilidad la planificación y, en parte, la implementación del desarrollo comunitario, de la promoción de higiene y de la asistencia técnica a los proveedores de servicios.

En el MMAyA hay una Unidad Ejecutora (EMAGUA), creada en 2009, con la responsabilidad para la ejecución de todas las inversiones en los sectores públicos y privados a cargo del Ministerio. En respuesta al derecho humano al agua, EMAGUA ha lanzado un programa de inversión para agua potable y riego de US $215.5 millones –Proyecto "Mi Agua", fases I y II– para alcanzar los objetivos del milenio del país trazados por el Poder Ejecutivo del Gobierno actual. Paralelamente ha lanzado, especialmente en los Departamentos de La Paz, Potosí y Santa Cruz, proyectos de riego en las áreas rurales como medio de fortalecer la seguridad alimentaria, brindando agua a más de 260,000 familias en el medio rural, a través de más de 1,900 proyectos de suministro de agua con 80,579 conexiones domiciliarias y 24,600 hectáreas con nueva irrigación, más allá de aproximadamente 2,500 kilómetros de tubería de diferentes diámetros instalada.

La fase III del proyecto "Mi Agua", iniciada en 2013, incluye 1,021 nuevos proyectos (689 de Agua y 332 de riego) con una inversión de US $163.5 millones, donde fueron principalmente incluidas las áreas rurales de los Departamentos de Cochabamba, Oruro, Chuquisaca, Tarija, Beni y Pando, completando, así, proyectos en los nueve Departamentos de Bolivia.

3.1 Otras entidades involucradas

Es muy importante mencionar que el Ministerio de Salud, por medio del Viceministerio de Salud y Promoción (VSP) y sus entidades descentralizadas, es el responsable de las labores de vigilancia de la calidad del agua suministrada por los prestadores. Le corresponde llevar a cabo la vigilancia sanitaria del agua para consumo humano y la vigilancia epidemiológica de enfermedades transmitidas por medio del agua. Asimismo, le compete emitir la Declaratoria de Emergencia Sanitaria en casos de desastres o de riesgos a la salud pública.

Las universidades estatales son generadoras de conocimiento y fuentes de innovación tecnológica. Juegan un rol protagónico en las comisiones encargadas de la normalización, dada su experiencia práctica e investigativa y a la no migración ocupacional de su personal técnico-académico, como ocurre con el personal técnico de las entidades del Estado. Desarrollan labores de docencia, investigación e interacción social, en el marco técnico-científico, que retroalimenta el sistema de conocimiento específico del manejo de los recursos hídricos desde diversas perspectivas. Su potencial radica principalmente en la prestación de servicios de laboratorios de calidad de aguas, de aguas residuales, así como experticia en la evaluación de recursos hídricos con personal altamente especializado.

4. Normativa general boliviana sobre la gestión del agua

Actualmente, no existe en Bolivia una ley marco relacionada con los recursos hídricos. La Ley de Aguas de 1906 ha sido altamente mutilada y prácticamente abrogada. El marco institucional del sector se define en la Ley de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Nº 2029 de 1999, revisada en el año 2000 en la Ley 2066. El Gobierno contempla la presentación y aprobación de una nueva ley de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, que sería denominada "Agua para la Vida".

De acuerdo con la Constitución Política del Estado (CPE) del año 2009, el Gobierno Central (Poder Ejecutivo) del Estado Plurinacional de Bolivia, en todos sus niveles, es responsable de la protección de los recursos naturales y del cuidado de los recursos hídricos, considerados estratégicos para el desarrollo socio-económico y la soberanía boliviana.

El marco institucional del sector se define con base en las siguientes normativas:

- Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, del año 2009.
- Ley 031, Ley Marco de Autonomías y Descentralización "Andrés Ibáñez", julio de 2010.
- Decreto Ley 15629, Ley General de Salud (Código de Salud), 1978.
- Ley 1333, Ley del Medio Ambiente, abril de 1992.
- Reglamento Nacional de Prestación de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado para Centros Urbanos, noviembre de 1992.
- Reglamento de la Ley 1333 en Materia de Contaminación Hídrica, 1995.
- Ley N° 2029 de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.
- Ley Nº 2066 (modifica la Ley N° 2029) de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.
- Ley N° 3602 de Entidades Mancomunitarias Sociales de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.
- Ley 300, Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien, septiembre de 2012.
- Ley 2066, Ley de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, modificatoria de la Ley 2029, abril de 2000.
- Ley 071, Ley de los Derechos de la Madre Tierra, diciembre de 2010.
- Decreto Supremo 29894.

Fotografía 4. Laboratorio de Calidad de Agua, UMSA, La Paz

- Decreto Supremo 22965 de noviembre de 1991 que crea la Dirección Nacional de Saneamiento Básico (DINASBA), modificada mediante Decreto Supremo 24855 del mes de septiembre de 1997 que crea el Viceministerio de Servicios Básicos, hoy Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- Norma Boliviana 512 - Agua Potable (NB 512). 4ª revisión, octubre de 2010.
- Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 2ª revisión, diciembre de 2010.
- NB 495 - Agua Potable-Definiciones y Terminología. 1ª revisión, noviembre de 2005.
- NB 496-Agua Potable - Toma de Muestras. 1ª revisión, noviembre de 2005.
- NB 689 Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable, diciembre de 2004.
- Reglamentos Técnicos NB 689 - Diseño para Sistemas de Agua Potable. Vols. 1 y 2, diciembre de 2004.

5. Norma específica de la calidad del agua potable en Bolivia

Esta sección detallará las responsabilidades y el seguimiento a las normas para determinar la calidad de agua ofrecida por las prestadoras de servicios. Desde el año 2004, el Ministerio de Servicios y Obras Públicas, el Vice Ministerio de Servicios Básicos y el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) son responsables de aplicar la (NB 512) y su Reglamento Técnico de Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Esta responsabilidad es fiscalizada por la AAPS y fueron publicados en los *"Indicadores de Desempeño de las EPSA Reguladas 2016".*

El objeto fundamental de esta norma es el de establecer los requisitos sobre la calidad física, química, microbiológica y radiológica del agua destinada a consumo humano. También establece las exigencias y condiciones que deberán ser cumplidas por las EPSA, tanto públicas como privadas. La norma establece los valores mínimos y máximos aceptables de los diferentes parámetros que determinan la calidad de agua abastecida con destino al uso y consumo humano, las modalidades de aplicación y su control.

5.1 Control de la calidad del agua para consumo humano

5.1.1 Parámetros de control de calidad del agua

La Norma Boliviana NB 512 establece los parámetros de control de calidad del agua para consumo humano que deben cumplir las EPSA (**Fotografía 4**).

Estos controles se agrupan de acuerdo con su factibilidad técnica y económica en los siguientes: Control Mínimo, Control Básico, Control Complementario y Control Especial.

Tabla 4. Parámetros de Control Mínimo

Parámetro	Valor Máximo Aceptable
Ph	6.5 a 9.0
Conductividad	1,500 µS/cm*
Turbiedad	5 UNT
Cloro residual	0,2 – 1,0 mg/lt
Coliformes termo-resistentes	0 UFC/100 ml

*El valor máximo aceptable de la conductividad, se puede expresar también como 1.000 mg STD/l. El parámetro temperatura, se debe medir en el punto de muestreo y en laboratorio a tiempo de realizar los análisis. Sirve como referencia para los análisis microbiológicos y para el cálculo del Índice de Langelier. Fuente: Reglamento de la NB 512.

Tabla 5. Parámetros de Control Básico

Parámetro	Valor Máximo Aceptable
Físicos	
Color	15 UCV
Químicos	
Sólidos totales disueltos	1,000 mg/lt
Químicos orgánicos	
Alcalinidad total	370 mg/lt CaCO3
Calcio	200 mg/lt
Cloruros	250 mg/lt
Dureza	500 mg/lt CaCO3
Hierro total	0.3 mg/lt
Magnesio	150 mg/lt
Manganeso	0.1 mg/lt
Sodio	200 mg/lt
Sulfatos	400 mg/lt

Fuente: Reglamento de la NB 512.

Tabla 6. Parámetros de Control Complementario

Parámetro	Valor Máximo Aceptable
Químicos inorgánicos	
Aluminio	0.1 mg/lt
Amoniaco	0.5 mg/lt
Arsénico	0.01 mg/lt
Boro	0.3 mg/lt
Cobre	1 mg/lt
Fluoruro	1.5 mg/lt
Nitritos	0.1 mg/lt
Nitratos	45 mg/lt
Plomo	0.01 mg/lt
Zinc	5 mg/lt
Subproductos De La Desinfección	
Trihalometanos totales (THM)	100 µg/lt
Químicos Orgánicos Plaguicidas	
Plaguicidas totales	0.5 µg/lt
Plaguicidas individuales (*)	0.1 µg/lt
Hidrocarburos	
Hidrocarburos totales (TPH)	10 µg/lt
Benceno	2 µg/lt
Microbiologicos Bacterias	
Coliformes totales	0 UCF/100 ml
Escherichia Coli	0 UCF/100 ml
Heterotróficas totales	500 UCF/100 ml
Pseudomonas aeruginosa	0 UCF/100 ml
Clostridium perfringens	0 UCF/100 ml

(*) Existen plaguicidas cuyos valores individuales pueden superar el valor máximo aceptable individual o la suma de sus valores individuales superar el valor máximo total. Fuente: Reglamento de la NB 512.

5.1.2 Parámetros de Control Mínimo

Los Parámetros de Control Mínimo de la Calidad del Agua para consumo humano que deben cumplir las EPSA se presentan en la **Tabla 4**.

5.1.3 Parámetros de Control Básico

Los Parámetros de Control Básico de la Calidad del Agua para consumo humano que deben cumplir las EPSA se presentan en la **Tabla 5**.

5.1.4 Parámetros de Control Complementario

Los Parámetros de Control Complementario de la Calidad del Agua para consumo humano que deben realizar las EPSA se presentan en la **Tabla 6**.

5.1.5 Parámetros de Control Especial

Los parámetros de Control Especial de Calidad del Agua para consumo humano que deben realizar las EPSA se presentan en la **Tabla 7**. Estos parámetros serán realizados en situaciones de desastre o en casos especiales de acuerdo con el historial de la fuente y/o región, o cuando lo consideren conveniente las EPSA.

5.1.6 Número mínimo de muestras en la red

Las EPSA determinarán en la red de distribución el número mínimo de muestras en función de la población abastecida, empleando la **Tabla 8**.

5.1.7 Número mínimo de puntos de muestreo en red

Para poblaciones mayores a 5.000 habitantes, el número mínimo de puntos de muestreo semanales en la red de distribución resulta de la división de la cantidad obtenida de la **Tabla 8** entre 4. En caso de obtenerse un resultado decimal se redondeará al número inmediato superior.

Para poblaciones menores a 5.000 habitantes, el número mínimo de puntos de muestreo será el obtenido de la **Tabla 8**, no siendo necesario dividirlo entre 4.

5.1.8 Ubicación de los puntos de muestreo en la red

Sobre la base del valor establecido en el numeral 5.1.7, las EPSA deben ubicar en la red de distribución los puntos de muestreo, aplicando los siguientes criterios:

- Deben ser uniformemente distribuidos e incluir zonas geográficas con riesgo de contaminación, puntos de baja presión, alta densidad poblacional, tramos finales de tuberías.
- Deben ser representativos de la zona de abastecimiento.
- Deben ser proporcionales a la población abastecida.

Con estos criterios existe la posibilidad que el número de puntos de muestreo establecidos en la red puede ser mayor al obtenido en el numeral 5.1.7.

5.1.9 Toma de muestras

Las EPSA deben tomar muestras de agua en la red de distribución de acuerdo con el número de puntos de muestreo obtenido en la **Tabla 8** y el numeral 5.1.7. Cuando el número de puntos de muestreo establecido de acuerdo con el numeral 5.1.8 es mayor al obtenido en el numeral 5.1.7, los muestreos semanales pueden ser rotativos, respetando así la cantidad de muestras definidas.

5.1.10 Características de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo deben ser representativos de la calidad del agua suministrada por las EPSA.

El grifo de muestreo debe estar situado lo más próximo a la conexión domiciliaria controlada por las EPSA y estar libre de la influencia de un tanque de almacenamiento subterráneo, tanque elevado o cualquier otro tipo de almacenamiento de agua intradomiciliario.

5.1.11 Frecuencias de muestreo

La frecuencia mínima de muestreo al año que deben realizar las EPSA para el control de la calidad del agua está entre una mensual y una anual, dependiendo de la población abastecida, los parámetros de control (**Tablas 6 a la 8**) y la ubicación de los puntos de muestreo.

5.1.12 Modificación de frecuencias de muestreo

Se define como modificación de frecuencias de muestreo tanto al incremento como a la reducción del número de muestras a ser tomadas del o los parámetros en consideración.

5.1.13 Incremento de frecuencias de muestreo

Las EPSA procederán con el incremento de frecuencias de muestreo en los siguientes casos:

g. Si el resultado de los análisis obtenidos para cualquier parámetro ha sido excedido bajo condiciones normales de operación o bajo condiciones meteorológicas adversas.
h. Si el resultado de los análisis ha demostrado que el valor máximo aceptable de cualquier parámetro ha sido excedido en más de tres muestras consecutivas.

La EPSA debe incrementar la frecuencia de muestreo del parámetro en cuestión las veces que sea necesario hasta que el problema haya sido controlado y el riesgo previsible sea bajo, de lo contra-

rio deberá suspender el servicio y comunicar a la autoridad competente, o a la institución delegada por la misma, los detalles del problema, la solución y/o las acciones a ser realizadas.

5.1.14 Decremento de frecuencias de muestreo

Si durante dos años consecutivos el resultado de los análisis de los parámetros de Control Básico y Control Complementario (**Tablas 5 y 6**) tiene valores por debajo de lo establecido en la NB 512, las EPSA podrán tramitar, ante la autoridad competente, la disminución de frecuencia de muestreo a ser tomada en el siguiente año con respecto a aquel parámetro, para la **Tabla 5** será de forma semestral y para la **Tabla 6** será de forma anual. Esta modificación no es aplicable a los parámetros microbiológicos.

5.1.15 Cumplimiento de requisitos de calidad

Los requisitos de calidad que deberán cumplir las EPSA con relación al agua para consumo humano son:

a. En el curso de un año, 90% de los resultados de los análisis correspondientes a los compuestos que afectan la calidad organoléptica, física y química del agua de consumo humano, y que se encuentran detallados en las **Tablas 5, 6 y 7** del Reglamento, no deben exceder las concentraciones o valores establecidos en la NB 512.
b. Durante el período de un año, el contenido de coliformes termo-resistentes por 100 ml del total de muestras tomadas a la salida de la planta de tratamiento, tanques de almacenamiento y red de distribución de las zonas de abastecimiento de agua, deben cumplir lo siguiente:

El 95% de las muestras analizadas no deben contener coliformes termo-resistentes.

c. Cuando la concentración de cloro residual sea menor a 0.2 mg/l en un punto terminal de la red, se procederá a tomar una muestra de agua para análisis bacteriológico de coliformes termo-resistentes.
d. La realización de los análisis de parámetros de control especial descritos en la **Tabla 7** será por parte de las EPSA cuando se identifique, sospeche y/o exista denuncia de que la fuente para el consumo de agua haya sufrido contaminación.

Tabla 7. Parámetros de Control Especial

Parámetro	Valor Máximo Aceptable
Químicos inorgánicos	
Antimonio	0.005 mg/Lt
Bario	0.7 mg/Lt
Cadmio	0.005 mg/Lt
Cianuro	0.07 mg/Lt
Cromo Total	0.05 mg/Lt
Mercurio	0.001 mg/Lt
Níquel	0.05 mg/Lt
Sabor y olor	Aceptable
Selenio	0.01 mg/Lt
Químicos Orgánicos Hidrocarburos	
Tolueno	700 µg/Lt
Etilbenceno	300 µg/Lt
Xileno	500 µg/Lt
Benzo(a) pireno	0.2 µg/Lt
Químicos Radiactivos	
Radiactividad alfa global	0.10 Bq/Lt *
Radiactividad beta global	1.0 Bq/Lt *
Químicos Orgánicos	
Acrilamida	0.5 µg/Lt
Epiclorohidrina	0.4 µg/Lt
Cloroformo	100 µg/Lt

Fuente: Reglamento de la NB 512

Tabla 8. Cantidad mínima de muestras de los Parámetros de Control Mínimo (Red de Distribución)

Población Abastecida (Hab.)	Número de Muestras
≤ 1.000	1/trimestre
1.001 a 2.000	1/trimestre
2.001 a 5.000	1/mes
5.001 a 10.000	(1c/5.000 hab)/mes
10.001 a 20.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
20.001 a 30.000	(1c/5.000 hab)/mes
50.001 a 100.000	(1c/5.000 hab)/mes
100.001 a 500.000	(10+1c/10.000 hab)/mes
> 500.000	(10+1c/10.000 hab)/mes

Fuente: Reglamento de la NB 512.

5.1.16 Mezcla de fuentes de agua

La frecuencia de muestreo en el caso de mezcla de fuentes de agua subterránea y superficial será determinada considerando la mezcla como agua superficial.

5.1.17 Control periódico en fuente

Las EPSA, de forma rutinaria tomando como guía los parámetros de la NB 512, NB 689 y el Reglamento de Recursos Hídricos de la Ley 1333, deben realizar un control periódico de la calidad del agua de la fuente en época de estiaje y época de lluvias (2 veces / año) y/o en caso de que se realice una mezcla de fuentes, de tal manera que permita controlar la calidad de la fuente de agua y/o la eficiencia del proceso de tratamiento.

5.1.18 Control en la selección de la fuente

Las EPSA deben realizar un análisis de la calidad del agua de la fuente, de acuerdo con las **Tablas 5, 6 y 7,** al inicio de las actividades y/o durante el proceso de selección de la fuente. En caso de excederse los valores máximos aceptables, las EPSA deben considerar los costos de tratamiento y sus posibilidades tecnológicas en función de los valores de los parámetros o desechar la fuente para evitar posteriores inconvenientes.

5.1.19 Procedimiento de muestreo

Las EPSA deben garantizar que el muestreo, manipuleo, preservación, transporte, almacenaje y el análisis de la muestra sean realizados de acuerdo con la NB 496 "Agua Potable-Toma de Muestras". A continuación se mencionan los requisitos más relevantes:

a. Que los frascos de muestreo sean preparados de acuerdo con los procedimientos que se utilizan para la toma de muestras.
b. Que la muestra sea representativa de la calidad de agua de la fuente o zonas de abastecimiento al tiempo de tomar la muestra.
c. Que la muestra no sea contaminada durante el muestreo.
d. Que la muestra sea mantenida a una temperatura y condiciones, asegurando que no se presente ninguna alteración natural del valor o concentración para la medición u observación a la cual la muestra esté destinada.
e. Que la muestra sea tomada por personal capacitado y con experiencia.
f. Que la muestra sea analizada tan pronto como sea posible en un plazo no mayor a 48 horas después de su toma y de acuerdo con los procedimientos normalizados.

5.1.20 Métodos analíticos de referencia

Las determinaciones analíticas de los parámetros indicados en la reglamentación deben ejecutarse de acuerdo con las normas vigentes, siguiéndolas y tomando como referencia métodos estándar de análisis publicados por APHA, AWWA, WPCF, ASTM y DIN.

6. La regulación de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario en Bolivia

En el marco de la Ley Nº 2066 del 1 de abril de 2000 y el Decreto Supremo Nº 071 del 9 de abril de 2009, en el Artículo 3 de éste se crea la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua y Saneamiento Básico (AAPS). Esta autoridad nacional es la que regula la gestión y manejo de los recursos hídricos, priorizando el derecho de uso para consumo humano y el saneamiento en equilibrio con el medio ambiente.

Se consideran tres grandes políticas: a) de precios y tarifas, b) de uso eficiente del agua, y c) de control de la calidad del agua para consumo humano.

La AAPS es la responsable de la fiscalización de la calidad del agua para consumo humano en los prestadores regulados, incluyendo los registros del muestreo y control de los análisis de calidad del agua efectuados, así como de las labores de mantenimiento, inspecciones sanitarias y los programas de purga a cargo de los prestadores regulados.

6.1 Modelo de seguimiento regulatorio

En Bolivia, el enfoque regulatorio está orientado a proteger los derechos de los usuarios, porque se debe garantizar el derecho de acceso al agua potable y alcantarillado con base en los criterios de universalidad, responsabilidad, accesibilidad, continuidad, eficiencia, eficacia, tarifas equitativas y cobertura necesaria para la sostenibilidad de las EPSA.

Tabla 9. EPSA regularizadas por Departamento hasta la gestión 2016

Departamento	Licencia	Registros	Autorización Transitoria	Total
Cochabamba	64	415	1	480
La Paz	25	438	1	464
Potosí	15	277	1	293
Santa Cruz	65	222	0	287
Chuquisaca	15	205	0	220
Oruro	12	140	0	152
Tarija	9	71	1	81
Beni	5	60	2	67
Pando	1	54	0	55
Total	**211**	**1882**	**6**	**2099**

Fuente: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas, 2016.

La regulación de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario está sustentada en un marco legal constitucional que en el Artículo 20 Numeral II señala: *Es responsabilidad de todos los niveles del Estado la provisión de servicios básicos.* El Artículo 241 numeral III explicita que la AAPS *ejercerá control social a la cantidad de los servicios públicos;* y el Artículo 298.II.5 le da tuición sobre régimen general de recursos hídricos y servicios.

El seguimiento regulatorio se aplica mediante procesos de fiscalización, supervisión y control con base en normativa regulatoria sectorial vigente en agua potable y saneamiento básico, que establece obligaciones tanto de reporte como de cumplimiento de condiciones en la prestación de servicios que tienen las EPSA ante el regulador en su condición de titulares de licencia. Las EPSA están obligadas a contar con la planificación del servicio de corto y mediano plazos, reflejado en Planes de Desarrollo Quinquenal (PDQ), Planes Transitorios de Desarrollo del Servicio (PTDS), Planes de Contingencia (PdC) y los Planes Operativos Anuales (POA).

Las acciones para la fiscalización y seguimiento a las EPSA se realizan mediante el manejo de informes semestrales y anuales, además de los estados financieros. Adicionalmente se realizan inspecciones en sitio a los diversos componentes de los servicios que prestan las EPSA.

Se evalúa el desempeño técnico, económico, financiero y comercial de la EPSA, traducido en indicadores de gestión que permiten realizar observaciones, recomendaciones e instrucciones a las EPSA para corregir los factores de distorsión que inciden negativamente en la prestación del servicio a través del tiempo, y que permite percibir las tendencias de los indicadores y el desempeño histórico de las EPSA. En casos extremos de incumplimiento o bajo desempeño, la AAPS formula cargos de infracción, cuyo desenlace es la aplicación de sanciones económicas que pueden desembocar en procesos de intervención cuando se establecen elevados niveles de riesgo en la prestación del servicio o la revocatoria de la licencia. Asimismo, la evaluación de desempeño contribuye a que las entidades de sector e instituciones territoriales orienten sus políticas, programas y proyectos hacia el mejoramiento de los servicios con base en el cumplimiento de metas y objetivos institucionales.

La APPS ha instruido a las EPSA la elaboración e implementación de sus respectivos planes de contingencias desde el 31 de marzo de 2016. Esto es una medida de prevención ante potenciales efectos del cambio climático (sequía), mitigar impactos y que podrían incidir en la disminución de la disponibilidad del recurso hídrico para prestar el servicio a la población.

Es necesario tomar en cuenta que dentro de los efectos del cambio climático están los fenómenos "El Niño" y "La Niña", correlacionados con inundaciones y periodos de sequía intensos en las diferentes regiones del país. En el caso de inundaciones es crítico el deterioro de la calidad de las aguas en sus fuentes de

origen debido a la mezcla de las aguas de consumo con las residuales; asimismo, en época de estiaje, el incremento de concentración de contaminantes en los cuerpos receptores de agua por la reducción de aportes que contribuyen con la dilución.

Los resultados más importantes que se esperan, gracias a la implementación de los respectivos planes de contingencia en las EPSA, son: a) mantener en rangos aceptables la disponibilidad del recurso hídrico, b) mantener dentro de los parámetros de la norma la calidad del recurso hídrico, c) llegar al usuario con abastecimiento de agua potable en caso de racionamiento extremo, y d) evitar potencial contaminación con aguas residuales, evitando de esta manera las "crisis" sufridas en años anteriores.

Con la promulgación del Decreto Supremo D.S. 726 de 2010 todas las concesiones se transforman en Autorizaciones Transitorias Especiales, habiendo la APPS realizado la migración a licencia de aquellas que presentan niveles de sostenibilidad aceptables, y no así de aquellas que tenían riesgos en la prestación del servicio, por lo que se encuentran solamente en Autorizaciones Transitorias.

6.1.1 EPSA con seguimiento regulatorio

La APPS regula a 56 EPSA a nivel nacional, de las cuales 3 pertenecen a la categoría (A), 18 a la categoría (B) y 35 a la categoría (C). Otras 14 EPSA se encuentran en proceso de incorporación al sistema de regulación (**Tabla 10**, año 2016).

6.1.2 Población con cobertura regulatoria

La cobertura regulatoria (CR) resulta de la relación entre la sumatoria de las poblaciones dentro de las áreas de servicio autorizadas por la APPS y la población total del país según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), cuyo resultado para la gestión 2016 es una cobertura de 70.48% (ver **Tabla 11**).

Tabla 10. Número de EPSA con seguimiento regulatorio por Departamento

Departamento	Categoría					
	A	B	C	D	TOTAL	%
Santa Cruz	1	6	24	6	37	52.9
Cochabamba	1	1	0	5	7	10.0
Beni	0	2	3	0	5	7.1
Potosí	0	2	3	0	5	7.1
La Paz	1	1	2	0	4	5.7
Oruro	0	1	2	1	4	5.7
Tarija	0	3	1	0	4	5.7
Chuquisaca	0	1	0	2	3	4.3
Pando	0	1	0	0	1	1.4
Total	**3**	**18**	**35**	**14**	**70**	**100.0**

Fuente: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas, 2016.

Tabla 11. Población bajo cobertura regulatoria de la APPS

Año	Población en área autorizada de las EPSA	Población según INE*	Cobertura regulatoria en %
2013	7.137.735	10.507.789	67.93
2014	7.274.884	10.665.841	68.21
2015	7.524.750	10.825.013	69.51
2016	7.742.791	10.985.059	70.48

Fuente: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas, 2016.

Tabla 12. Cobertura regulatoria - Número de conexiones

Categoría	Número de EPSA	Conexiones Agua potable	%	Conexiones Alcantarillado Sanitario	%
Categoría A	3	682,165	55.1	512,241	66.3
Categoría B	18	399,222	32.3	201,053	26.0
Categoría C	35	138,715	11.2	52,338	6.8
Categoría D	14	17,187	1.4	7,232	0.9
Totales	**70**	**1,237,289**	**100**	**772,864**	**100**

Fuente: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas, 2016.

Tabla 13. Objetivo - Confiabilidad del Recurso

Indicador	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Categoría D
Rendimiento actual de la fuente	<85%	<85%	<85%	<85%
Uso eficiente del recurso	>65%	>60%	>60%	>60%
Cobertura de muestras de agua potable	100%	95%	90%	85%
Conformidad de los análisis de agua potable realizados	95%	95%	95%	95%

Fuente: Adaptado de: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas, 2016.

6.2 Cobertura regulatoria – número de conexiones

Las tres ciudades del eje troncal de Bolivia se encuentran en la Categoría A: EPSAS (La Paz-El Alto), SEMAPA (Cochabamba) y SAGUAPAC (Santa Cruz), y representan 55.1% de las conexiones de agua potable de un total de 1.237.789 conexiones a nivel nacional, y 66.3% de conexiones de alcantarillado sanitario de un total de 772.864 conexiones a nivel nacional (ver **Tabla 12**).

7. Indicadores de desempeño por objetivos, sus parámetros y rangos óptimos

Se consideran indicadores de desempeño por objetivos, sus parámetros y rangos óptimos según categoría los siguientes:

7.1 Objetivo: confiabilidad del recurso

7.1.1 Evaluación

Rendimiento actual de la fuente: Relación entre el volumen efectivamente explotado en el periodo y el autorizado por AAPS; valor óptimo: <85%

Categoría (A): Eje Central, comprende 3 EPSA: Cochabamba-La Paz-Santa Cruz; 77.14%-78.07%-88.29%, respectivamente. Sólo una EPSA registra volúmenes de sobreexplotación de fuentes mayor al óptimo.

Categoría (B): Comprende 18 EPSA, donde 15 EPSA (83%) tienen valores menores a 85%.

Categoría (C): Comprende 35 EPSA, de las cuales 30 presentaron datos consistentes; 8 EPSA (27,6%) exceden 85%; 72.4% cumplen el parámetro óptimo.

Categoría (D): Comprende 14 EPSA de las cuales 7 reportan información; 3 EPSA exceden 85% y cuatro EPSA cumplen el parámetro óptimo.

Uso eficiente del recurso: Relación entre el volumen de agua que efectivamente llega a los usuarios con respecto al volumen extraído de la fuente; valor óptimo: 65%

Categoría (A): Eje Central, comprende 3 EPSA: Santa Cruz-La Paz-Cochabamba; 81.56%-60.78%-53.34%, respectivamente. Una sola EPSA presenta información de cumplimiento del indicador óptimo. El incumplimiento se debe a la disminución de volúmenes de agua potable facturados en la gestión por efecto de la baja de los caudales

en sus fuentes superficiales por la sequía ocurrida en ambas ciudades.

Categoría (B): Comprende 18 EPSA, donde 14 EPSA (77.8%) cumplen el indicador óptimo y 4 (22.2%) presentan valores menores a 60%.

Categoría (C): Comprende 35 EPSA, de las cuales 26 EPSA reportan datos; 24 EPSA (92.3%) alcanzan el parámetro óptimo y 2 EPSA (7,7%) están con valores menores a 60%.

Categoría (D): De las 14 EPSA, sólo 7 reportan información y éstas cumplen con el parámetro óptimo.

Cobertura de muestras de agua potable: El indicador mide el cumplimiento del número de muestras para el monitoreo de calidad de agua de acuerdo con lo establecido por la NB 512 Agua Potable-Requisitos y su Reglamento.

Categoría (A): Eje Central, comprende 3 EPSA: Cochabamba-Santa Cruz-La Paz; 222.48%-183.72%-98.59%, respectivamente. Aquellas que exceden 100% son EPSA que toman un mayor número de muestras al especificado en la norma.

Categoría (B): Comprende 18 EPSA, donde 17 EPSA reportan registros; 7 EPSA (39%) cumplen el indicador óptimo (>95%), el resto no cumple con el indicador de cobertura de muestras.

Categoría (C): De las 35 EPSA sólo 25 EPSA presentan información; 8 EPSA cumplen con el parámetro óptimo (>90%), las restantes 17 no cumplen con el parámetro óptimo.

Categoría (D): De las 14 EPSA, sólo 6 reportan información y sólo 3 EPSA cumplen con la normativa vigente (>85%).

Las EPSA que no cumplen con el número de muestras para control de la calidad de agua potable que establece el indicador, están exponiendo a riesgo sanitario a sus usuarios.

Conformidad de análisis de agua potable: El indicador verifica que el agua producida cumpla con los requisitos de calidad establecidos en la NB512 Agua Potable-Requisitos.

Categoría (A): Eje Central, comprende 3 EPSA: Cochabamba-La Paz-Santa Cruz; 99.12%-99%-95.70%, respectivamente; cumplen con la conformidad de calidad de agua.

Categoría (B): 61% de las EPSA cumple con el indicador y la NB 512. El otro 39% debe controlar algunos parámetros inorgánicos como hierro y manganeso. El pH y la conformidad para el cloro residual, registrando valores por debajo del mínimo 0.2 mg/lt.

Categoría (C): De las 35 EPSA sólo 25 EPSA presentan información; de ellas sólo 12 EPSA cumplen con el parámetro óptimo (95%), las restantes 13 EPSA no cumplen. Las EPSA deben mejorar el control de calidad de agua y, en caso de ser necesario, mejorar la infraestructura para el tratamiento de agua, incluida su desinfección.

Categoría (D): De las 14 EPSA, solamente 6 presentan información sobre el indicador, de las cuales 3 EPSA cumplen con la conformidad de los resultados de análisis de agua.

Las EPSA que presentan conformidad de análisis de agua potable por debajo del parámetro establecido por la APPS deben asumir acciones específicas para garantizar la calidad e inocuidad del agua que proveen a sus usuarios, previniendo los factores de riesgo sanitario del agua suministrada. Asimismo, deben implementar un Plan de Control de Calidad de Agua Potable conforme indica la Política de Calidad de Agua.

7.1.2 Objetivo: Estabilidad de Abastecimiento

7.1.3 Evaluación

Dotación: El indicador refleja la cantidad de agua potable que produce la EPSA por habitante abastecido, ver **Tabla 14**.

Categoría (A): Eje Central, Parámetro óptimo > 150 Litros/hab/día; Cochabamba-Santa Cruz-La Paz, 161.85-137.53-92.49 Litros/hab/día respectivamente. Aparentemente Cochabamba presenta cumplimiento del indicador, mismo que se distorsiona debido al elevado porcentaje de pérdidas físicas de agua en su red de distribución. Santa Cruz y La Paz no logran superar el parámetro establecido por la APPS, teniendo incidencia en esta última la disminución de la disponibilidad de agua en una de sus fuentes de agua autorizada (Cuencas Incachaca y Hampaturi), debido a la sequía agravada por efectos del cambio climático.

Categoría (B): En general las EPSA de esta categoría cumplen con el parámetro óptimo mayor a 100 Litros/hab/día, sin embargo en gran parte de las EPSA el resultado alcanzado es afectado por los altos índices de agua no contabilizada en la red de distribución de agua potable. En algunas EPSA la dotación per cápita tiende a disminuir por efectos de reducción en la oferta de sus fuentes superficiales.

Categoría (C): De las 35 EPSA sólo 24 cumplen con el parámetro óptimo (> 80 L/hab /día). Solo 3 EPSA presentan dotaciones mayores a 190 l/hab/día por encima del parámetro óptimo, atribuible a que estas EPSAS no cuentan con micro medición ni macro medición. El volumen de agua producción es estimado por sus operadores y de la misma manera se estima el consumo no medido.

Categoría (D): De las 14 EPSA sólo 6 cumplen con el parámetro óptimo (>50 L/hab/día). El no cumplimiento se debe a la disminución de las reservas o caudales de agua en sus fuentes respecto del autorizado.

Continuidad por racionamiento: El indicador refleja el grado de continuidad del servicio considerando el número de horas de abastecimiento a la población usuaria en el área autorizada, de acuerdo con la capacidad de fuentes e infraestructura

Categoría (A): parámetro óptimo > 20 horas/día; Eje Central, Santa Cruz-La Paz-Cochabamba, 24 horas-22.38 horas-13.06 horas, respectivamente. El último valor de continuidad por racionamiento es recurrente desde gestiones anteriores a 2016 por escasez de agua en sus fuentes autorizadas, considerando factores climáticos y altas pérdidas de agua en red.

Categoría (B): El 55 % de la EPSA cumple con el parámetro óptimo. Las operadoras que suministran agua con fuentes superficiales presentan limitaciones de continuidad en la prestación superior a las 20 horas/día, ello por su limitada capacidad de infraestructura de producción y almacenamiento.

El servicio discontinuo afecta la gestión de la distribución. La operación de redes incorpora aire provocando remoción de material de las paredes internas de las tuberías, además de una medición imprecisa del consumo, ocasionando reclamos y morosidad por parte del cliente.

Categoría (C): De las 35 EPSA, 20 reportan información y cumplen con el parámetro óptimo (>12 horas/día).

Categoría (D): De las 14 EPSA, sólo 6 presentan información y cumplen el parámetro óptimo (>8 horas/día).

Continuidad por corte: La continuidad por corte es la expresión en porcentaje de la continuidad por racionamiento. Y se realiza el corte como una medida de racionamiento, aunque también se debe a mantenimiento de la infraestructura.

Cobertura del servicio de agua potable: El indicador establece el porcentaje de población abastecida con servicio de agua potable con conexión domiciliaria y registrada en la EPSA.

Categoría (A): Eje Central, La Paz-Santa Cruz-Cochabamba presentan coberturas de 97.52%-96.91%-66.67%, respectivamente; el parámetro óptimo es (>90%).

Categoría (B): El 67 % cumple con el parámetro óptimo (>90 % de cobertura). Las EPSA no están atendiendo requerimientos en áreas periurba-

Tabla 14. Objetivo: Estabilidad de Abastecimiento

Indicador	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Categoría D
Dotación	>150 l/hab/día	>100 l/hab/día	>80 l/hab/día	>50 l/hab/día
Continuidad por racionamiento	>20 hr/día	>20 hr/día	>12 hr/día	>8 hr/día
Continuidad por corte	>95%	>95%	>95%	>95%
Cobertura del servicio de agua potable	>90%	>90%	>80%	>70%
Cobertura del servicio de alcantarillado	>65%	>65%	>65%	>65%
Cobertura de micromedición	>90%	>90%	>90%	>80%

Fuente: Adaptado de: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas, 2016.

nas, debido a limitaciones de infraestructura y oferta de agua.

Categoría (C): De las 35 EPSA, sólo 22 cumplen con una cobertura >80%, no contando con recursos financieros para la ampliación de sus redes de agua.

Categoría (D): 13 EPSA presentan información, de las cuales 12 cumplen con el parámetro óptimo de cobertura (>70%).

En consideración a las nuevas políticas gubernamentales es necesario que las EPSA realicen gestiones para nuevos proyectos de inversión con la finalidad de alcanzar las coberturas propuestas, especialmente en áreas periurbanas, en coordinación con sus gobiernos locales.

Cobertura de servicio de alcantarillado: El indicador mide el porcentaje de población servida formalmente con conexión domiciliaria de servicio de alcantarillado sanitario.

Se incluye este indicador por tener relación directa con la calidad de las aguas en los cuerpos receptores que en gran medida pueden ser o son potenciales fuentes de suministro para poblaciones aguas abajo, además de establecer condiciones básicas de saneamiento.

Categoría (A): Eje Central, Cochabamba-La Paz-Santa Cruz; presenta valores de 84.08%-70.77%-60,93%, respectivamente; en los dos primeros casos cumple con el parámetro óptimo (> 65%).

Categoría (B): Sólo 5 EPSA de las 18 presentan resultados de cumplimiento; las demás no están atendiendo sus áreas periurbanas debido a limitaciones de infraestructura y financieras.

Categoría (C): De las 35 EPSA, sólo 20 prestan el servicio de alcantarillado sanitario y, de éstas, solamente 4 cumplen con el parámetro óptimo de cobertura (> 65%).

Categoría (D): De las 14 EPSA, 7 prestan el servicio de alcantarillado sanitario y sólo 4 cumplen con la cobertura > 0.65%.

Es prioritario que las EPSA que no prestan el servicio de alcantarillado sanitario deben gestionar proyectos para incrementar su cobertura.

Cobertura de micro medición: El indicador determina la relación porcentual entre el número de conexiones domiciliarias con medidor en sus viviendas y el número total de usuarios de la EPSA.

Categoría (A): El Eje Central, La Paz-Santa Cruz-Cochabamba tienen los valores de 100%-99.75%-86.85%, respectivamente. El indicador debe ser > a 90%. La ciudad de Cochabamba presenta elevado porcentaje de agua no contabilizada.

Categoría (B): El 56% de las EPSA cumple con el parámetro óptimo; las restantes incumplen con la Política del Uso Eficiente del Agua.

Categoría (C): De las 35 EPSA, sólo 30 cuentan con información de micro medición y 24 cumplen con el parámetro (> 90%).

Categoría (D): De las 14 EPSA, sólo 9 cuentan con micro medición mayor a 80% y sólo 6 cumplen con 100% de micro medición.

7.2 Objetivo: Protección al Medio Ambiente

7.2.1 Evaluación

Incidencia de extracción de agua cruda subterránea: No se dispone de información detallada en la publicación "Indicadores de Desempeño de las EPSA Reguladas 2016".

Índice de tratamiento de aguas residuales: El indicador muestra la relación porcentual entre el volumen de aguas residuales que son sometidas a

Tabla 15. Protección al Medio Ambiente

Indicador	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Categoría D
Incidencia de extracción de agua cruda subterráneas	<85%	<85%	<85%	<85%
Índice de tratamiento de aguas residuales	>60%	>60%	>50%	>50%
Control de calidad de las aguas residuales	>95%	>95%	>95%	>95%

Fuente: Adaptado de: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas, 2016.

Tabla 16. Manejo apropiado del Sistema de Agua y Alcantarillado

Indicador	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Categoría D
Capacidad instalada de planta de tratamiento de agua potable	<90%	<90%	<90%	<90%
Capacidad instalada de planta de tratamiento de agua residual	<90%	<90%	<90%	<90%
Presión del servicio de agua potable	>95%	>95%	>95%	>95%
Índice de agua no contabilizada en la producción	<5%	<10%	<10%	<15%
Índice de agua no contabilizada en la red	<30%	<30%	<30%	<30%
Densidad de fallas en tuberías de agua potable	20-50 Fallas/100km	20-50 Fallas/100km	20-50 Fallas/100km	20-50 Fallas/100km
Densidad de fallas en conexiones de agua potable	20-50 Fallas/1000 conexiones	20-50 Fallas/1000 conexiones	20-50 Fallas/1000 conexiones	20-50 Fallas/1000 conexiones
Densidad de fallas en tuberías de agua residual	2-4 Fallas/100km	2-4 Fallas/100km	2-4 Fallas/100km	2-4 Fallas/100km

Fuente: Adaptado de: Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas, 2016.

tratamiento y el volumen total estimado de aguas residuales producidas en el área de prestación de servicio de agua, con el objeto de minimizar impactos al medio ambiente y a la salud de la población.

Categoría (A): Eje Central, Santa Cruz-Cochabamba-La Paz tienen los valores de 107.9%-85,20%-27,49%, respectivamente. El parámetro fijado como óptimo es >60%.

El bajo porcentaje en el caso de la ciudad de La Paz se debe a la inexistencia de un sistema de tratamiento, 27.49% corresponde parcialmente a la Ciudad de El Alto, ciudad vecina a la de La Paz.

Categoría (B): 7 EPSA de las 18 tienen Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, de las cuales 6 cumplen con el indicador.

Categoría (C): de las 35 EPSA sólo 13 cuentan con Plantas de Tratamiento, de las cuales 10 cumplen con el parámetro óptimo.

Categoría (D): No se dispone de datos, pero se asume que no existe tratamiento.

Control de la calidad de las aguas residuales:

El indicador muestra la relación entre el número de análisis satisfactorios de aguas residuales tratadas y el número total de muestras analizadas.

Categoría (A): Eje Central, Santa Cruz-La Paz-Cochabamba presentan valores de 91.93% - 60.48% - 59.42%,respectivamente, siendo el indicador óptimo fijado (>95%), no existiendo cumplimiento.

Categoría (B): Sólo 2 EPSA de las 18 cumplen con el parámetro óptimo de análisis satisfactorios.

Categoría (C): de las 13 EPSA, sólo 8 cuentan con plantas de tratamiento, pero ninguna cumple el parámetro óptimo (>95%).

No se reporta información de la categoría D. Se asume la no existencia de sistemas de tratamiento.

7.3 Manejo apropiado del sistema de agua potable y alcantarillado sanitario

7.3.1 Evaluación

Capacidad instalada de Planta de Tratamiento de Agua Potable: El indicador muestra la relación entre el volumen tratado de agua en plantas de potabilización con respecto a la capacidad instalada del sistema de potabilización.

Categoría (A): Eje Central: Cochabamba y La Paz; con valores de 55.78% y 79,91%, para un valor óptimo (< 90%). La Paz trata 100% de agua extraída de sus fuentes superficiales, que representa 79.91% de su producción; el equivalente a 20.09% corresponde al agua extraída de pozos profundos, sometida a desinfección. La ciudad de Santa Cruz desinfecta 100% del agua de sus pozos.

Es necesario contar con un estudio sobre las eficiencias globales de las plantas.

Categoría (B): 4 EPSA reportan información por debajo del parámetro óptimo (< 90%).

Categoría (C): De las 35 EPSA, sólo 8 EPSA cuentan con Plantas de Potabilización de Agua, de las cuales 3 están por encima del parámetro óptimo del indicador y 5 requieren inversiones para ampliar la capacidad.

Categoría (D): De las 14 EPSA, sólo 2 cuentan con Plantas de Potabilización de Agua las cuales cumplen con el parámetro óptimo del indicador.

Capacidad instalada de Planta de Tratamiento de Agua Residual: Proporciona la relación entre el volumen tratado de agua en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales respecto a la capacidad instalada de tratamiento.

Categoría (A): Eje Central; La Paz-Cochabamba-Santa Cruz presentan valores de 69.6%-77.22%-98.45%, siendo el parámetro óptimo <90%. Santa Cruz está llegando al límite de su capacidad, comprometiendo el objetivo de lograr 100% de cobertura en el mediano plazo. La Paz y Cochabamba se encuentran en el parámetro óptimo, sin embargo, La Paz trata las aguas que descargan en la Planta de la Ciudad de El Alto. Cochabamba disminuyó el volumen de tratamiento por la reducción de agua potable que suministra a los usuarios.

Categoría (B): De las 18 EPSA, sólo 8 tienen infraestructura de tratamiento y de ellas sólo 2 cumplen con el parámetro óptimo (<90%).

Categoría (C): De las 35 EPSA, sólo 13 cuentan con plantas, de las cuales 2 EPSA cumplen con el parámetro óptimo (<90%).

Categoría (D): No se dispone de datos.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que se han identificado en Bolivia requieren urgentemente de una estrategia que permita, de manera progresiva, lograr su funcionamiento efectivo, pues muchas de ellas se encuentran sin operación por falta de recursos y capacidades en los operadores; sin embargo, resalta de ello el potencial que ofrece para el reúso con fines de riego (ver **Figura 4** y **Tabla 17**).

Presión del Servicio de Agua Potable: El indicador muestra el grado de cumplimiento de rangos de presión entre 13 y 70 m.c.a. en puntos representativos de la red de agua potable, de manera de garantizar el servicio en el área de concesión.

Categoría (A): Eje Central, Santa Cruz-La Paz-Cochabamba presentan valores de 100%-89.41%-11.19%, siendo el parámetro óptimo >95%. La Paz, debido a su topografía, presenta dificultades de presión en las zonas altas. Cochabamba no cumple por deficiencias de mantenimiento y déficit de recursos hídricos: agua no contabilizada elevada.

Categoría (B): Sólo 30% de las 18 EPSA cumple con el indicador (>95%).

Categoría (C): De las 35 EPSA, sólo 19 presentan información, de las cuales 9 cumplen con el rango de presión.

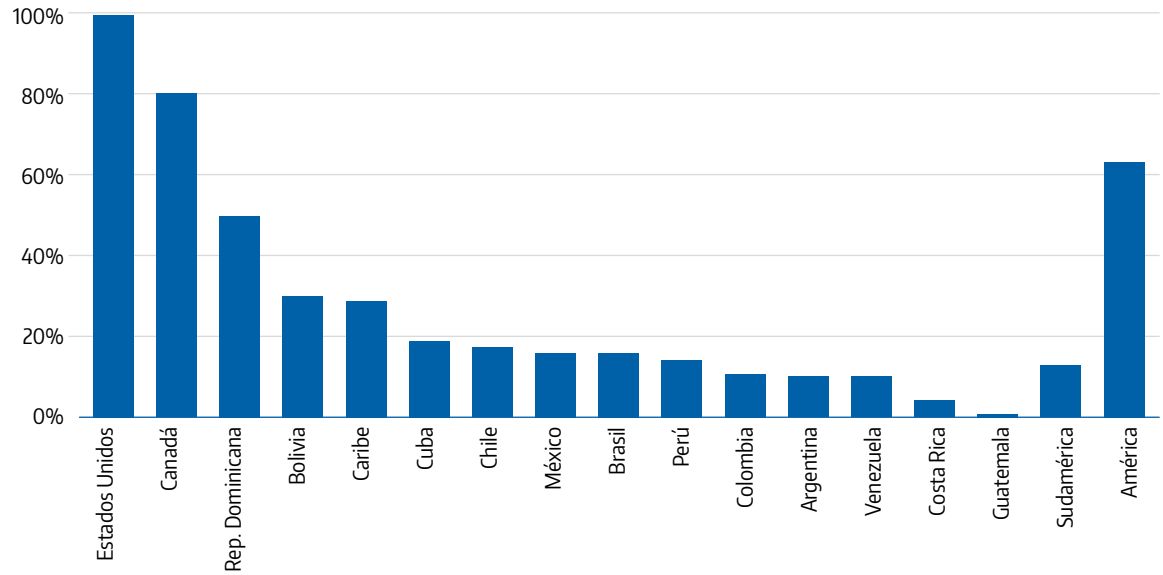
Categoría (D): De las 14 EPSA, sólo 2 presentan información de monitoreo de presiones de servi-

Tabla 17. Volumen Tratado de Aguas Residuales según Ciudad Capital (en Lt/seg)

Ciudad / Año	2008	2009	2010
La Paz / El Alto	s.d.	s.d.	s.d.
Santa Cruz	1,009	1,053	1,116
Cochabamba	795	655	522
Oruro	245	750	750
Sucre	140	152	145
Potosí	13	125	132
Tarija	162	167	174
Trinidad	74	76	76
Cobija	s.d.	s.d.	s.d.
Total	2,478	3,022	2,966

Fuente: Reglamento de la NB 512.

Figura 4. Porcentaje de tratamiento de agua residual en plantas



Fuente: Global Water Supply and Sanitation Assesment. Report 2012

cio, cumpliendo el parámetro óptimo. A 12 EPSA se les recomienda realizar controles de presión.

No se evalúan: el Índice de agua no contabilizada en la producción, índice de agua no contabilizada en la red, densidad de fallas en tuberías de agua potable, densidad de fallas en conexiones de agua potable y la densidad de fallas en conexiones de agua residual, por ser muy específicos de cada sistema.

8. Conclusiones

Las entidades que son las encargadas de coadyuvar en la implementación de la política, de proteger los recursos naturales y el medio ambiente, y de brindar apoyo a los prestadores de agua potable para el debido cumplimiento en el suministro de agua para consumo humano, específicamente son las siguientes:

1. Las Gobernaciones (gobiernos departamentales), responsables de ejecutar la política general de conservación y protección de cuencas y acuíferos, en su ámbito de jurisdicción.
2. Los Gobiernos Autónomos Municipales, responsables de asegurar la provisión de servicios de agua potable y saneamiento en su ámbito de jurisdicción.
3. El SENASBA, encargado del desarrollo de capacidades del sector, es responsable de:
   i. Brindar la asistencia técnica y fortalecimiento institucional a los prestadores en materia de calidad del agua para consumo humano.
   ii. Formar recursos humanos y capacitar a los prestadores en diversas temáticas sectoriales, entre ellas, en los planes de control operacional y otros relativos a la calidad del agua para consumo humano, así como promover un sistema de certificación de competencias laborales del sector.
   iii. Coadyuvar, durante la ejecución de obras de agua potable, en la información a la población sobre la importancia de la calidad del agua para consumo humano. Cuenta con la Escuela Plurinacional del Agua como plataforma de articulación para la gestión del conocimiento a través de procesos de capacitación, formación e investigación aplicada.
4. La Entidad Ejecutora de Medio Ambiente y Agua (EMAGUA) dependiente del MMAyA, el Fondo de Inversión Productiva y Social (FPS) y las Uni-

dades Coordinadoras de Programas y Proyectos que ejecutan inversiones en agua potable y saneamiento, así como las Unidades dependientes de los Gobiernos Autónomos Departamentales o Municipales, que construyan por sí mismas o mediante terceros, obras de infraestructura hidráulica y sanitaria, deben garantizar que los diseños y obras cumplan los requisitos para garantizar el suministro de agua apta para consumo humano, conforme a la política y la normativa técnica correspondiente del Plan Nacional de Desarrollo (PDN) que incluye el Plan de Saneamiento Básico.

5. El IBMETRO, dependiente del Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, es la instancia nacional de referencia para todas las mediciones y, como tal, custodia y mantiene los patrones nacionales de medición. Presta, además, servicios de calibración, acreditación y verificación de equipos en aspectos metrológicos. Con base en lo anterior, es la entidad a cargo de la acreditación de los laboratorios para análisis de agua, así como de la calibración y verificación metrológica de los equipos que se utilicen en el sector de agua potable y saneamiento básico.

Existe un creciente consenso en que la mejor manera de garantizar agua apta para consumo humano se alcanza mediante la protección y control de las fuentes de agua, evitando fuentes de contaminación aledañas, lo cual deriva en atender no sólo el punto de donde se realiza la extracción de agua –superficial o subterránea– sino en proteger la microcuenca, la zona de recarga y el área de influencia directa de la obra de captación.

En este contexto, la detección de posibles fuentes de contaminación es más visible y evidente en las aguas superficiales, lo cual posibilita tomar medidas preventivas o correctivas, en tanto que, en el caso del agua subterránea, la contaminación avanza sin que pueda visualizarse, y los estudios para determinar la fuente y características de la contaminación, así como los procesos de descontaminación, requieren acciones de largo plazo que pueden obligar inclusive a abandonar la fuente local de abastecimiento de agua. Por ello, es necesario establecer mayor análisis, monitoreo y protección en torno a las aguas subterráneas, siendo evidente la falta de cuidado en el manejo de instalaciones cercanas a los pozos para extracción de agua, para evitar la sobreexplotación de agua subterránea, como es el caso de la ciudad de Santa Cruz.

Existe una tendencia marcada hacia el crecimiento urbano de las principales ciudades de Bolivia, ciudades situadas en áreas con déficit hídrico; este hecho está incrementando las necesidades de agua potable, pero también requiere de una estrategia para encarar importantes inversiones en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, pues muchas de ellas se encuentran sobrecargadas, y existe una menor cobertura de alcantarillado con relación al agua potable.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que se han identificado en Bolivia requieren de la urgente necesidad de una estrategia que permita de manera progresiva lograr su funcionamiento efectivo, pues muchas de ellas se encuentran sin operación por falta de recursos y capacidades en los operadores; sin embargo, resalta de ello el potencial que se ofrece para el reúso con fines de riego. Aguas abajo de las PTAR, principalmente en lugares con características agro productivas, aguas tratadas (o parcialmente tratadas) y en algún caso aguas no tratadas vienen siendo utilizadas para riego complementario. Sin embargo, muy poco se ha trabajado en la solución a los problemas de contaminación y de salud que podría estar generando su utilización para riego.

Si bien existe un marco normativo en Bolivia, como la Ley de Medio Ambiente y las Leyes Sectoriales (Ley de Agua Potable y Ley de Riego), para el cumplimiento de la norma se requiere vencer varios obstáculos, a saber: 1) mayor cantidad y calidad de información que implica recursos económicos y asesoramiento, 2) articulación entre los sectores en función de los roles y competencias de cada una de ellas para una mayor efectividad, y 3) desarrollo de capacidades en los diferentes niveles de gobierno y entidades involucradas con la problemática.

Se calcula que en Bolivia existen 303,000 millones de m^3/año como recursos hídricos internos renovables, sin embargo, 40% del territorio pasa por períodos secos. Se estima que 1.054 millones de m^3/año de agua son utilizados para riego, 124 millones m^3/año para uso poblacional y 62 millones de m^3/año para uso industrial.

En Bolivia, más de 5 millones de habitantes no cuentan con sistemas de alcantarillado; la disposi-

ción final de las aguas residuales recolectadas sin tratamiento llega a 70%, contaminando los cursos de agua, suelos y acuíferos. Un estudio en 111 centros poblados a nivel nacional, donde realizan el reúso de agua para riego en 5000 ha, 84 cuentan con PTAR con problemas de funcionamiento; los restantes no tiene ningún tipo de tratamiento.

Se ha conformado una Comisión Mixta de Aguas Residuales como un espacio de generación de propuestas y lineamientos para hallar soluciones a la problemática del reúso; la comisión está generando asistencia técnica e información para la toma de futuras decisiones. Es necesario realizar inversiones en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, pues muchas de ellas se encuentran sobrecargadas y existe una menor cobertura de alcantarillado con relación a las de agua potable. Complementariamente se requiere de una estrategia para lograr que funcione adecuadamente.

Aguas abajo de las PTAR, aguas tratadas y no tratadas vienen siendo utilizadas para riego complementario. Sin embargo, muy poco se ha trabajado en la solución a los problemas de contaminación y de salud que se podrían estar generando. Si bien existe un marco normativo, se requiere vencer varios obstáculos para una mayor efectividad, a saber: 1) mayor cantidad y calidad de información, además de su sistematización, y 2) articulación entre los sectores en función a los roles (además del reconocimiento de los mismos).

De acuerdo con la AAPS, la cobertura de agua potable en Bolivia llega a alrededor de 70% de la población (7 millones de habitantes), mientras que 30% (3 millones) no accede a este beneficio y vive la mayoría en el área rural. Durante un acto público realizado en la sede de gobierno, la autoridad reguladora explicó que la cobertura en el acceso al servicio de saneamiento básico –conexión de alcantarillado– llega a 55% de la población, que representa alrededor de 5,5 millones de habitantes.

El ente fiscalizador informa a las organizaciones sociales, representantes departamentales y nacionales, con el objetivo de transparentar la gestión y fortalecer el control social en el sector, mediante la recepción de sugerencias de los participantes.

En la actualidad, la AAPS fiscaliza a las EPSA vinculadas al servicio de agua y saneamiento, que se encuentran bajo el sistema regulatorio en todo el país.

Según las proyecciones de la institución, la meta a corto plazo es llegar a 75 u 80% de cobertura nacional en agua potable y hasta 60% en el servicio de alcantarillado. En ese marco, todas las inversiones que realiza el Estado, a través de diversas instituciones, apuntan a ese objetivo.

De acuerdo con los datos del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, el país requiere una inversión de mil millones de dólares para expandir la cobertura, mejorar y mantener la calidad en el servicio de agua potable y alcantarillado a escala nacional.

Una de las políticas de la AAPS es constituirse en referente informativo para identificar los sectores en los que hace falta saneamiento básico, plantas de tratamiento y fuentes de agua, entre otras necesidades.

La calidad del agua para consumo humano y riego en las tres vertientes componentes del sistema hidrográfico boliviano tiene como factor principal de impacto negativo de la actividad minera e industrial sobre los recursos hídricos, que en muchos casos han superado con ventaja los límites máximos permitidos en cuanto a concentración de sustancias nocivas, originando problemas sociales y económicos en sectores deprimidos de la sociedad. En los cursos de agua mayores de las vertientes amazónica y del Plata, el deterioro de la calidad del agua se manifiesta por la elevada concentración de sedimentos, originados por los procesos de erosión laminar y movimiento de masas en las cuencas altas, así como por los altos niveles de concentración de sustancias utilizadas en la explotación aurífera.

Referencias bibliográficas

Argollo J. y Mourguiart P. (1995). *Climas Cuaternarios en América del Sur.* La Paz: ORSTOM.

Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) (2016). *Indicadores de Desempeño de las EPSA Reguladas.* La Paz: MMAyA.

Cardozo, A., Montes de Oca, I., Rodrigo, L. A., Saavedra, A. (2004). *Procesos de salinización en el Altiplano Central. Una contribución a su conocimiento.* La Paz: Academia Nacional de Ciencias de Bolivia.

Constitución Política del Estado (CPE) (2009). Recuperado de: https://www.oas.org/dil/esp/Constitucion_Bolivia.pdf

España, Carlos (2004a). *Norma Boliviana NB 689, Para el Diseño de Sistemas de Agua Potable y Plantas Potabilizadoras de Agua.*

España, Carlos (2004b). *Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable.* NB 689; Vols. 1/2 y 2/2.

Fundación Natura Bolivia (2010). *Manejo integral en la cuenca de Arroyo Bahía-Pando.* Santa Cruz, Bolivia.

INTESCA, AIC & CNR (1993). *Plan global binacional de protección-prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S.).* Convenios ALA/8603 y ALA/87/23 – Perú y Bolivia.

Norma Boliviana NB 512 – Agua Potable Requisitos (2005).

Organización Mundial de la Salud (OMS) / ONU Agua (2015). *Saneamiento, Agua de Consumo e Higiene.*

Reglamento Nacional para el Control de la Calidad de Agua para Consumo Humano - NB 512.

Servicio Geológico de Bolivia / British Geological Survey (1994). *Proyecto Precámbrico.*

Urquidi, Fernando (2012). Los recursos hídricos en Bolivia: un punto de vista estratégico sobre la problemática de las aguas transfronterizas en *Diagnóstico del Agua en las Américas.* México: IANAS-FCCyT.

Urquidi, Fernando (2013). Water Resources in Bolivia: A Strategic Viewpoint of the Issues Associated with Transboundary Waters in: *Diagnosis of Water in the Americas.* México: IANAS, AMC, II-UNAM.

Urquidi, Fernando (2015). Compendio de la situación de los recursos hídricos en las ciudades capitales departamentales de Bolivia, en *Desafíos del agua urbana en las Américas.* México: IANAS-UNESCO.

Urquidi, Fernando (2015). Compendium of the Water Resources in the Capital Cities of the Departments of Bolivia, in *Urban Water Challenges in the Americas.* Mexico: IANAS-UNESCO).

Brasil

Brasil tiene el mayor volumen de recursos renovables de agua dulce que concentran aproximadamente 12% del suministro mundial. Esto no significa que el país se encuentre a salvo de experimentar escasez de este recurso natural. Los próximos diez años, el mayor consumo de agua tratada será un factor que intensificará los problemas ocasionados por las prolongadas sequías y la precaria situación de la infraestructura nacional de distribución. El consumo de agua en 2030 aumentará 24% en comparación con el consumo actual, debido al proceso de urbanización y la crecimiento de la industria, la agroindustria y la economía.

Calles del centro de São Paulo, Brasil © iStock

La calidad del agua en Brasil

Adalberto Luís Val, Carlos E. de M. Bicudo, Denise de C. Bicudo, Diego Guimarães Florencio Pujoni, Fernando Rosado Spilki, Ina de Souza Nogueira, Ivanildo Hespanhol, José Almir Cirilo, José Galizia Tundisi, Pedro Val, Ricardo Hirata, Sandra Maria Feliciano de Oliveira e Azevedo, Silvio Crestana y Virginia S.T. Ciminelli

1. La calidad del agua en Brasil: perspectiva histórica

El desarrollo industrial, la urbanización y las actividades agrícolas en los últimos 50 años contribuyeron ampliamente a la compleja y delicada situación de la calidad del agua en Brasil. El proceso histórico de degradación de la calidad del agua siguió de alguna manera el camino mundial descrito por Tundisi *et al.* (2015) y claramente también por Bicudo y Bicudo (2017). Primero, el desarrollo industrial produjo efluentes con metales pesados, sustancias orgánicas disueltas y otros materiales tóxicos. La urbanización acelerada después de 1950, junto con el tratamiento inadecuado de las aguas residuales, contribuyó a la acumulación de materia orgánica y a la eutrofización de ríos, embalses y lagos. Las actividades agrícolas extensas, la aplicación intensiva de pesticidas y herbicidas y el uso incontrolado de fertilizantes, especialmente en regiones de plantaciones de caña de azúcar y soja muy extendidas, también contribuyeron a la degradación de la calidad del agua. Hoy día, la eutrofización es uno de los mayores problemas ambientales de Brasil, con enormes consecuencias económicas, ecológicas y para la salud humana.

La explotación mineral de hierro, oro y otros metales es otra causa de degradación de la calidad del agua en varias regiones de Brasil. El arsénico, el mercurio y el plomo son contaminantes típicos que pueden estar relacionados con esta actividad. Mozetto y otros (2003) describieron cómo los metales y nutrientes están débilmente ligados en los sedimentos del río Tietê (São Paulo) y el impacto que esto podría tener en la salud humana. En los últimos años, las inundaciones, los grandes desastres como la contaminación del río Doce por la falla de una represa de relaves y otras descargas intensas de sustancias tóxicas empeoraron el panorama de la degradación de la calidad del agua. Las actividades de deforestación en

Adalberto Luís Val dalval.inpa@gmail.com Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil. **Carlos E. de M. Bicudo** cbicudo@terra.com.br Coordinador del capítulo, Instituto de Botânica, São Paulo, SP, Brasil. **Denise de C. Bicudo** denisecbicudo@gmail.com Instituto de Botânica, São Paulo, SP, Brasil. **Diego Guimarães Florencio Pujoni** diegopujoni@gmail.com Universidade Federal de Minas Gerais, MG, Brasil. **Fernando Rosado Spilki** fernandors@feevale.br Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil. **Ina de Souza Nogueira** isnogueira.ufg@gmail.com Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil. **Ivanildo Hespanhol** ivanhes@usp.br Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. **José Almir Cirilo** almir.cirilo@gmail.com Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil. **José Galizia Tundisi** tundisi@iie.com.br Coordinador del capítulo, Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, SP, Brasil. **Pedro Val** pedroval07@gmail.com Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil. **Ricardo Hirata** rhirata@usp.br Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. **Sandra Maria Feliciano de Oliveira e Azevedo** sazevedo@biof.ufrj.br Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Silvio Crestana** silvio.crestana@embrapa.br Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, São Carlos, SP, Brasil. **Virginia S.T. Ciminelli** ciminelli@demet.ufmg.br Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

todo el país, incluida la eliminación de la vegetación ribereña, también afectan la calidad del agua de los cuerpos de agua y contribuyen al deterioro. Los ríos y embalses urbanos son entornos con un impacto particularmente alto en la calidad del agua debido al aumento de la explotación.

Las consecuencias de este proceso a gran escala son muy relevantes. En primer lugar, la economía de los municipios y estados se ve afectada negativamente. En segundo lugar, el impacto en la salud humana tampoco se ha comprendido todavía del todo. El deterioro de la calidad del agua conlleva altos costos de tratamiento para proporcionar agua potable adecuada a la población humana. El deterioro de la biodiversidad es otra consecuencia de la baja calidad del agua y de los desastres ambientales que afectan a ríos, embalses o lagos. Debido a este contexto, pocas cuencas hidrográficas de Brasil pueden considerarse prístinas. Por lo tanto, la restauración de la calidad del agua en Brasil, la protección de las pocas cuencas prístinas que quedan y la aplicación de leyes ambientales son algunas de las importantes acciones necesarias para promover una mejor calidad de vida, reducir los riesgos y la vulnerabilidad a la seguridad del agua y promover el crecimiento económico. Es fundamental monitorear todas las regiones de manera consistente con el mantenimiento de bases de datos permanentes y públicas para apoyar las políticas públicas.

En este volumen describimos el estado actual de la calidad del agua en todas las regiones de Brasil, incluyendo algunos de los principales desafíos para las aguas superficiales y subterráneas. Además, presentamos algunos desafíos específicos, como los riesgos emergentes de los pesticidas, herbicidas, hormonas y cambio climático. Por último, discutimos las implicaciones económicas de la degradación de la calidad del agua y hacemos algunas observaciones sobre la reducción de la vulnerabilidad del agua en Brasil.

2. Calidad del agua: Región Norte

En la Amazonia todo es grande y diverso. La extensa cuenca se origina en los Andes peruanos, específicamente en el Nevado Mismi, se extiende por todos los países del norte de Sudamérica y abarca un área de 7 millones de km^2. El río Amazonas, el principal curso de agua, llega al Océano Atlántico después de recorrer 6,992 km, donde descarga 20% de toda el agua dulce que llega a todos los ambientes marinos del mundo. Este volumen de agua es cinco veces mayor que el del río Congo (África) y 12 veces mayor que el del río Mississippi (EUA). Cada pequeño espacio es único en el Amazonas. Esto también es cierto en el caso del agua. Fue el limnólogo alemán Harald Sioli quien describió inicialmente los tres tipos básicos de agua del Amazonas: las aguas blancas del río Solimões/Amazonas; las aguas negras del río Negro; y las aguas claras del Tapajós (Sioli, 1950). Estas distinciones no sólo se basan en el color, sino principalmente en las características físico-químicas y biológicas. Las aguas blancas, o más bien fangosas, del río Solimões-Amazonas tienen un pH casi neutro, una gran cantidad de arena suspendida de los Andes y las riberas de los ríos, una baja concentración de carbono orgánico disuelto (COD) y una mayor cantidad de nutrientes en relación con otros cuerpos de agua de la Amazonia. Los ríos de aguas negras (como el Río Negro) se diferencian en que muestran un pH ácido que oscila entre 3.2 y 5, niveles altos de COD y niveles muy bajos de sodio, potasio y calcio. Las aguas claras (es decir, del río Tapajós) tienen un pH entre 6 y 7, bajos niveles de COD, sodio, potasio, calcio y alta transparencia (Furch, 1984).

Una característica notable de la cuenca del Amazonas es la variación estacional de los niveles de agua de los ríos, apropiadamente llamados pulsos de inundación (Junk *et al*., 1989). En las orillas de Manaus, el nivel del río Negro puede variar más de 15 m entre las temporadas baja y alta. Otros parámetros ambientales también muestran variaciones diurnas, estacionales e incluso geográficas, influenciadas por la interacción con las diversas características ambientales, como el nivel de oxígeno disuelto. Por supuesto, estas diferentes características imponen desafíos a todos los órdenes de organismos acuáticos. En el caso de los peces, por ejemplo, se ha desarrollado un amplio conjunto de adaptaciones a todos los niveles de la organización biológica a lo largo del proceso evolutivo, de modo que pueden sobrevivir en entornos que presentan

una variación significativa en la disponibilidad de oxígeno en periodos cortos de tiempo (Val & Almeida, 1995; Val, 1995; Val *et al*., 2015). De manera similar, los peces del Río Negro pueden mantener la homeostasis iónica a pesar de la acidez y las características de deficiencia de iones de su ambiente (González *et al*., 2002; Wood *et al*., 2014). Hoy se sabe que el COD tiene un papel relevante en este proceso (Duarte *et al*., 2016).

Aún queda mucho por decir sobre las adaptaciones y capacidades de la biota acuática de la Amazonia. Sin embargo, muchos organismos acuáticos ya se enfrentan a los retos que imponen los cambios medioambientales provocados por el hombre. Destacamos aquí, muy brevemente, tres de estos desafíos. En primer lugar, la presencia de metales provenientes de la minería en varios cuerpos de agua de la región, que ponen en peligro a varias especies de peces muy sensibles a estos metales, como el cobre (Duarte *et al*., 2009; Crémazy *et al*., 2016). En segundo lugar, el efecto del cambio climático sobre los ambientes acuáticos, que los hacen más cálidos, ácidos y con menos oxígeno disuelto, condiciones que representan una intensificación de los desafíos a los que ya se enfrentan muchos organismos acuáticos de la Amazonia (Oliveira & Val, 2017). Tercero, el impacto urbano en los ríos que cruzan las ciudades, cuando reciben una gran cantidad de nuevos compuestos químicos y escombros que representan nuevas dificultades para la biota acuática. En este caso, dos grupos de compuestos son dignos de mención: los plásticos y los lixiviados de los vertederos. Por último, mientras que por un lado se necesita un gran desafío para expandir lo que sabemos sobre el prístino medio acuático amazónico, por otro lado también hay una necesidad gigantesca y urgente de información robusta para reducir los impactos antrópicos de todos los órdenes sobre los ambientes acuáticos únicos que existen en la Amazonia.

3. Calidad del agua: Región Nordeste

Para contextualizar el tema de la calidad del agua en el nordeste brasileño, se debe destacar la distinción entre calidad hidroquímica y cantidad de agua superficial y subterránea. Considerando el problema de las aguas superficiales, el nordeste de Brasil contiene sólo 3% del agua brasileña y tiene sólo dos grandes ríos perennes: el São Francisco, que concentra 63% del agua del nordeste, y el Parnaíba, con 15%. Todos los demás ríos algo grandes son intermitentes, es decir, sólo fluyen en la estación de lluvias. En la región costera existen ríos perennes de pequeña extensión que son de gran importancia para el abastecimiento de agua para la población y las actividades productivas, principalmente porque la mayor parte de la población y la producción industrial se concentra a lo largo de hasta 150 km de la costa. En esta zona más cercana a la costa, el mayor problema para la calidad del agua de los ríos es la contaminación proveniente de las aguas residuales domésticas y de los residuos sólidos, especialmente a lo largo de los ríos y canales que fluyen a través de las ciudades. Aunque en la región se han implementado parcialmente importantes programas de tratamiento de aguas residuales, especialmente en los grandes centros urbanos, la crisis económica que comenzó en 2014 y que aún afecta las políticas públicas en el país ha disminuido el esfuerzo por ampliar el tratamiento de las aguas residuales domésticas. El resultado es que la recolección de aguas residuales en la mayoría de las ciudades del nordeste es inferior a 40% del volumen producido, y el tratamiento efectivo de las aguas residuales en las principales ciudades, con pocas excepciones, es inferior a 30%. El problema de la contaminación por desechos sólidos de los ríos y canales que atraviesan las regiones más pobres de las ciudades es alarmante; la deficiencia de los servicios de recolección de desechos y la falta de conciencia ambiental de la población ribereña transforman estos pequeños cursos de agua en reservorios flotantes de desechos sólidos. La contaminación industrial difusa es otro motivo de preocupación, ya que los conglomerados industriales, como la producción de prendas de vestir, crecen en zonas cercanas a ríos temporales que reciben grandes cantidades de residuos netos de la producción.

Río arriba de los centros urbanos, y aun considerando las regiones más húmedas del nordeste, la calidad del agua suele ser satisfactoria, aunque hay problemas en algunos ríos como resultado de la contaminación por actividades agrícolas (por ejemplo, la caña de azúcar). En la región atravesada por el río São Francisco, a pesar de un nivel relativamente más alto de tratamiento de aguas residuales en las principales ciudades en comparación con

otras partes del nordeste, han ocurrido accidentes eventuales de proliferación de algas, que han dañado el suministro de agua de las ciudades. Debe considerarse en este caso la presencia de muchos sistemas de riego a lo largo del río, cuyos sistemas de drenaje pueden afectar la calidad del agua.

En cuanto a las formaciones de aguas subterráneas, el agua almacenada en los acuíferos sedimentarios es generalmente de buena calidad en todos los aspectos. En los acuíferos sedimentarios costeros existe el riesgo de salinización en muchos pozos como consecuencia de la alta explotación o infiltración vertical en pozos mal sellados. Por otro lado, la calidad del agua se ve muy afectada por la alta concentración de sales en los denominados acuíferos de fisuras, en los que el agua se filtra entre las fracturas de las rocas. De manera alarmante, estas sales dominan más de 80% de la región.

4. Calidad del agua: Región Centro-Oeste

La región centro-oeste de Brasil contiene manantiales de cinco regiones hidrográficas (Amazonas, Paraguay, Araguaia-Tocantins, Paraná y São Francisco). Además de abastecer al centro-oeste y a todas las demás regiones de Brasil, estas regiones hidrográficas también aportan agua a Paraguay y Argentina. Es la segunda región menos poblada, donde se pueden encontrar aguas prístinas en diferentes localidades como la cuenca del río Formoso en el estado de Mato Grosso do Sul (municipios de Bonito, Jardim y Bodoquena) y el Distrito Federal (Estación Ecológica Águas Emendadas). También, en diferentes lugares del estado de Goiás (especialmente en la región del Parque de Chapada dos Veadeiros) y Mato Grosso (Poconé) (O'Sullivan & Reynolds, 2004; Cunha-Santino & Bianchini Jr., 2008; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2011). Al igual que en la región del norte, las aguas pueden clasificarse en algunos tipos que se describen a continuación.

Las aguas termales se producen debido a los gradientes geotérmicos naturales de la corteza terrestre (Goiás, 2006). Existen localidades termales en Mato Grosso (Barra do Garça, Rondonópolis, Juscimeira, Primavera do Leste y Santo Antônio do Leverger) y Goiás, el estado con el mayor número de aguas termales en Brasil. Las aguas termales se originan a través de diferentes acuíferos (Araxá, Paranoá, Serra Geral, Serra da Mesa, Aquidauana, Cristalino Noroeste y Guaraní). Existen 19 fuentes naturales de afloramiento en el estado clasificadas como fuentes isotérmicas (36-38°C) e hipertermales (>38°C). El mayor complejo de agua caliente del país se concentra en los municipios de Caldas Novas y Río Quente (Goiás, 2006), pero también existen fuentes termales en el Parque de Chapada dos Veadeiros, Lagoa Santa y la ciudad de Goiás. El río Quente (Goiás) es el río hipertermal más grande del país y atraviesa la región de Cerrado.

Las aguas ácidas o negras están compuestas de ácidos disueltos de origen vegetal con un color parduzco y un pH < 6. Están presentes en diferentes localidades de todos los estados del centro-oeste de Brasil. Específicamente, el Parque de la Chapada dos Veadeiros presenta una extensa área cubierta por ríos de aguas ácidas, entre los cuales destacan el Río Negro en el estado de Mato Grosso do Sul y el Río Suia-mixu en el estado de Mato Grosso. Las aguas salobres se registran en el Pantanal (Santos & Sant'Anna, 2010; Barbiero *et al*. 2008), en la región nordeste de Goiás (acuífero de Bambuí que promueve manantiales salobres) (Goiás, 2006). Estas aguas se originan en el suelo que contiene estos cuerpos de agua. Las aguas fangosas o marrones se registran en la mayoría de los ríos que atraviesan las regiones con tierras de latosol. En el centro-oeste de Brasil, el tipo más común es el latosol ferruginoso (Resck, 1991). Las aguas que fluyen en esta región contienen una gran cantidad de hierro. Durante el periodo lluvioso, la mayoría de los ríos se vuelven fangosos debido a la erosión y la deforestación.

La región también tiene una gran reserva de agua subterránea. El Acuífero Guaraní se expande a través de las regiones sur, sureste y centro-oeste y contribuye al abastecimiento de agua de una parte significativa de las cuencas hidrográficas en la región centro-oeste del sur. Varios manantiales se originan de este sistema de aguas subterráneas y se explotan para el riego y el abastecimiento público. También se pueden observar lagos en cuevas que son comunes en el norte de Goiás y en el sur de Mato Grosso do Sul.

Los ambientes acuáticos del centro de Brasil son importantes y atractivos para el turismo y la recreación (deportes acuáticos, cascadas, lagunas vírgenes, ríos con rápidos). Desafortunadamente,

están experimentando serios problemas de erosión, sedimentación, construcción de vías fluviales, plantas hidroeléctricas y pivotes de agua, así como contaminación del agua (rural y urbana). El más perjudicial de todos ha sido el avance de las fronteras agrícolas y agroindustriales que se inició con proyectos gubernamentales en los años 70 (Miziara, 2006; Rodrigues & Miziara, 2008) y se intensificó en la primera década del siglo XXI, lo que promovió la deforestación intensiva, sobre todo en los estados de Goiás y Mato Grosso do Sul. La falta de saneamiento y tratamiento del agua también contribuyó a la grave caracterización errónea de las cuencas hidrográficas que cambiaron para satisfacer el crecimiento de la población y los suministros agrícolas, industriales y comerciales.

Actualmente, existen alrededor de 700 embalses de plantas hidroeléctricas (PHE) y/o pequeñas PHE que modifican la morfología de los ríos, la calidad del agua y/o el tipo de agua. El río más modificado es el Tocantins con ocho embalses de diversas formas en su curso, el más grande de los cuales se encuentra en el estado de Goiás (Embalse de la Serra da Mesa). El único río que aún no está fragmentado es el Araguaia debido a su origen. Este río es el más grande del centro de Brasil (Valente *et al*., 2013) y limita con los estados de Mato Grosso y Goiás. También está el Pantanal de Mato Grosso, el humedal continuo más grande del planeta. Sin embargo, algunos de los ríos que desembocan en este ecosistema sufren algún tipo de impacto (por ejemplo, la ganadería, la deforestación y la minería de oro) que afecta la calidad del agua.

Otro proceso de extrema importancia son los impactos climáticos, que han ido en aumento en los últimos 10 años. Las estaciones han cambiado hasta el punto de producir lluvias excesivas y sequías extremas. Estas condiciones conducen a procesos de grandes inundaciones y ríos que antes eran perennes y ahora se quedan sin agua durante el periodo de sequía. Por ejemplo, en 2017 sólo en Goiás, más de 15 ríos tenían ausencia total o parcial de agua en sus cauces, lo que perjudicó la biota acuática y el abastecimiento público.

El agua es un excelente indicador de la calidad ambiental, ya que está directamente influenciada por el régimen hídrico al que están sometidos los ecosistemas. Además, el volumen y el flujo también se ven afectados por la deforestación, que se está intensificando debido al cambio climático (Coe *et al*., 2011). Actualmente, el concepto de uso sostenible del agua en el centro-oeste de Brasil sigue siendo antropocéntrico y dañino (es decir, numerosos embalses y concesiones autorizadas) (Tundisi, 2002; 2014), por lo que es necesario conceptualizar la sostenibilidad del agua en un sentido ambiental. Junto con el uso intensivo del agua viene el concepto de agua virtual (Tundisi, 2014), que se utiliza por su presencia en el producto final del proceso de producción de alimentos, que finalmente se exporta a otras regiones del país y al resto del mundo. Este concepto se aplica bien en una región cuya economía se basa en la producción agrícola y ganadera, por lo que el agua es fundamental para su desarrollo. La investigación de la calidad del agua en Brasil se rige por la legislación específica del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, 357; Brasil, 2005), por la Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997) y por un sistema de gestión integrada de los recursos hídricos (ANA, 2005). En la región centro-oeste, la aplicación de estas leyes sigue siendo precaria y suscita muchos conflictos, como el uso indiscriminado del agua y el cabildeo de las empresas agroalimentarias. La única legislación efectivamente aplicada se centra en el suministro público (Ordenanza de Consolidación, 5/2017; Brasil, 2017). Como aquí se destaca, existen diferentes tipos de agua en la región centro-oeste y sus múltiples usos conducen a un escenario complejo con fuertes interferencias humanas. No se puede negar que el agua apoya el desarrollo sostenible en la región centro-oeste.

5. Calidad del agua: Región Sureste

El sureste de Brasil es la zona más poblada y urbanizada del país, con cerca de 120 millones de habitantes. La calidad del agua se ve afectada principalmente por la falta de tratamiento de las aguas residuales, la descarga de fertilizantes de la agricultura y de efluentes de las plantas industriales, y la contaminación de las aguas subterráneas.

Aunque el sureste trata un gran volumen de sus aguas residuales, no es suficiente para una limpieza completa de las aguas superficiales. Alrededor de

40% de las aguas residuales se vierten sin ningún tipo de tratamiento en las masas de agua continentales, como ríos, embalses, lagunas costeras y regiones costeras. Como consecuencia, los brotes de cianobacterias son frecuentes en las aguas interiores y costeras. La eutrofización de embalses en el estado de São Paulo, por ejemplo, es muy frecuente, incluso permanente en algunos casos (Tundisi 2018, en prensa).

Varias fuentes difusas de degradación de la calidad del agua también se originan en residuos sólidos abandonados. Estos impactos difusos afectan no sólo a las aguas superficiales sino también a las subterráneas. La deforestación de los mosaicos de vegetación y de los bosques ribereños es otra de las principales causas de degradación, ya que aumenta la descarga de pesticidas, herbicidas y fertilizantes a los ríos y embalses, lo que deteriora la calidad del agua y aumenta el costo del tratamiento del agua para consumo humano (Tundisi y Matsumura-Tundisi, 2010; Tundisi *et al*., 2015).

La contaminación de las aguas subterráneas en el sureste tiene un impacto adicional en la calidad del agua. Parte de la región sureste utiliza los recursos hídricos del Acuífero Guaraní. Estos recursos son aprovechados por varias ciudades pequeñas y medianas (50,000 a 200,000 habitantes) como fuente de abastecimiento público de agua.

La protección de la calidad del agua en la región incluiría, por lo tanto, la recuperación de la vegetación en las cuencas hidrográficas, la restauración de los bosques ribereños, el tratamiento de 100% de las aguas residuales y la reducción de los vertederos de desechos sólidos al aire libre a fin de evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. El manejo integrado de cuencas con una visión sistémica, una fuerte educación ambiental de la población y la capacitación de los administradores son algunos de los pasos fundamentales en la recuperación y conservación de la calidad del agua. Además, las fuertes medidas de conservación en aguas prístinas existentes podrían ser una herramienta excelente para mantener una base de información científica sobre la calidad original del agua en el sureste. La preparación de la gestión de la calidad del agua para su recuperación y conservación también es esencial para adaptarse al cambio climático (Jorgensen *et al*., 2013).

6. Calidad del agua: Región Sur

La región sur de Brasil está formada por tres estados: Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul. La región está poblada por aproximadamente 28 millones de habitantes y el clima es principalmente subtropical. La actividad industrial se desarrolla en los grandes centros urbanos del sector, principalmente la industria metalmecánica, la confección, el calzado y la alimentación. Las vastas llanuras están ocupadas por grandes plantaciones de soja, arroz, maíz y ranchos de ganado, mientras que las regiones montañosas rurales están ocupadas por pequeñas granjas dedicadas a las cadenas de producción lechera, porcina y avícola. Los niveles educativos y de ingresos suelen estar por encima de la media brasileña, aunque existen grandes disparidades. Paradójicamente, el sur se caracteriza a menudo por sus altos indicadores de desarrollo humano, pero también se enfrenta a problemas más profundos en relación con la calidad del agua, que se ve afectada por muchas fuentes de contaminación. Los recursos hídricos se ven afectados por el uso excesivo de agroquímicos, nutrientes suplementarios (N y P) aplicados a los cultivos y efluentes industriales de diversas procedencias, incluidos los metales y otros desechos. En este último caso, hay ejemplos significativos de contaminación por disolventes orgánicos y otros procedentes de las industrias de transformación, como curtidurías y fábricas de papel, que muchas veces conducen a un acortamiento del suministro de agua. Sin embargo, el mayor impacto en las masas de agua está relacionado con los déficits de saneamiento ambiental: aunque casi 90% de la población recibe agua tratada, hasta 30% del total de las aguas residuales domésticas no es tratado antes de ser vertido a ríos y lagos. Estas estadísticas son aún más graves si se considera que sólo el estado de Paraná trata 70% de las aguas residuales en sus principales ciudades, mientras que en los estados de Santa Catarina y Rio Grande do Sul sólo 10% de las aguas residuales son tratadas antes de ser vertidas a los ríos.

Esta situación de contaminación y pérdidas en la calidad del agua se ve agravada incluso por varios problemas socioeconómicos e institucionales que acompañaron a la crisis económica de las últimas décadas por parte de los gobiernos estatales de

esta región. Las zonas occidentales de los estados de Paraná y Santa Catarina, en la frontera con Paraguay y Argentina, están afectadas por el estiércol porcino industrial y las aguas residuales domésticas. Las grandes áreas metropolitanas de la región, especialmente Florianópolis y Porto Alegre, están muy afectadas por los bajos niveles de tratamiento de aguas residuales y el consiguiente aumento de los costos relacionados con el tratamiento del agua y las enfermedades transmitidas por el agua. En el caso de Florianópolis, las pérdidas en la calidad del agua representan una amenaza constante para la actividad económica del turismo; las playas de la ciudad suelen estar cerradas debido a la inadecuada eliminación de escombros no tratados, lo que conlleva riesgos para el uso recreativo. En la ciudad de Porto Alegre, el lago Guaíba, principal reservorio de agua potable de la ciudad, se ve afectado anualmente por la proliferación masiva de algas, como resultado de la descarga de las aguas residuales no tratadas de la propia ciudad y de su cuenca hidrográfica, que cuenta con más de 5 millones de habitantes a lo largo de todos los ríos que desembocan en el lago. Las ciudades más grandes de la región, aquellas con más de 200 mil habitantes, reportan a menudo más de 6,000 casos de gastroenteritis al año, lo que constituye un aspecto del grave impacto de la contaminación del agua en la salud pública. Todo el panorama se ve obstaculizado por la contaminación industrial ya mencionada. Los municipios de la frontera entre Brasil y Uruguay (la mayoría de ellos atravesados por el río Uruguay) a menudo se ven afectados por la falta de tratamiento de aguas residuales y la falta de fondos para aumentar su infraestructura de tratamiento de aguas residuales.

Además de estos problemas de calidad del agua, también hay sequías periódicas, especialmente en los meses de verano, que amenazan la seguridad hídrica de grandes áreas del sur de Brasil. La gestión ineficiente de los usos múltiples del agua ya ha generado conflictos, especialmente entre la población urbana y el sector agrario, que se han agudizado en momentos de escasez. Esto se ve agravado por un sistema problemático de gestión y vigilancia. La estructura de monitoreo ambiental, especialmente en el estado de Rio Grande do Sul, está en gran medida agotada. Los organismos de control actuales no disponen de los recursos financieros necesarios ni del personal suficiente para llevar a cabo sus actividades.

7. La calidad de las aguas subterráneas brasileñas

El agua subterránea juega un papel esencial en el suministro público de agua en Brasil. Según la Agencia Nacional del Agua (ANA, 2010), la mitad de los municipios del país está total (39%) o parcialmente (13%) abastecida por acuíferos, con un alto predominio en las ciudades pequeñas y medianas. En el abastecimiento privado de agua, la importancia es aún mayor, ya que se ha utilizado para aliviar los graves problemas de falta de agua del sistema público, que es recurrente en casi todas las ciudades brasileñas o, incluso, una alternativa de agua de bajo costo. Desafortunadamente, no existe una estimación de esta explotación y los estudios locales han demostrado que este valor es considerablemente mayor que la percepción de la sociedad y el Gobierno. Esta importancia está bien ejemplificada en la Región Metropolitana de São Paulo, donde el suministro público de agua es sólo de 1%, pero 12,000 pozos privados (60% de ellos ilegales) que extraen unos 10 $m^3 s^{-1}$, proporcionan agua a 20% de la población. Esta "estadística oculta" es una de las causas de la escasa atención del Gobierno, incluida la falta de iniciativas para proteger la calidad de los acuíferos.

Las características litológicas, tectónicas y climáticas de Brasil crean excelentes condiciones para una buena calidad del agua subterránea y, en su mayoría, naturalmente potable. Excepto por la alta salinidad observada en los acuíferos fracturados de la región semiárida del nordeste, las anomalías geoquímicas naturales de sustancias tóxicas como F, Cr y Ba son muy limitadas en el área. Sin embargo, el Fe y el Mg tienen una presencia más extensa y están generalmente asociados con acuíferos sedimentarios no confinados. En cuanto a las fuentes de contaminantes antropogénicos, la situación es más compleja y merece más atención por parte del Gobierno. El nitrato es el único contaminante con una presencia más significativa en los acuíferos brasileños. En las zonas urbanas es casi omnipresente. Esto refleja la falta de redes de alcantarillado, que sólo alcanzan a 50% de la población urbana en las regiones donde existen estos sistemas, debido a la falta de mantenimiento o a la edad. El problema no es peor porque la contaminación se ha restringido a las partes menos profundas del acuífero (normal-

mente hasta una profundidad de algunas decenas de metros), permitiendo también el uso de su agua en las partes más profundas.

Otros contaminantes en las zonas urbanas son los combustibles líquidos derivados del petróleo procedentes de fugas y el mal funcionamiento de las estaciones de servicio. Estudios de la CETESB (2009) en el estado de São Paulo han demostrado que más de 50% de estas instalaciones tenían fugas que llegaban a los acuíferos; sin embargo, la pluma tenía dimensiones e impactos limitados. Los disolventes clorados y los metales pesados son productos bastante comunes en la industria y son responsables de las plumas más masivas y complejas de contaminación de acuíferos en el país. La alta toxicidad y el gran volumen de producto manejado por la industria e incluso desechado en basureros abiertos y vertederos han hecho de estos compuestos una nueva y real preocupación en los acuíferos urbanos, especialmente cuando están presentes en fase libre (producto puro) que llegan a acuíferos complejos tales como los fracturados (Hirata *et al*., 2015).

No hay información sobre la situación de la degradación de las aguas subterráneas en las zonas urbanas. Aunque Brasil ha sido un importante productor agrícola, existe un riesgo real de degradación de los acuíferos con fertilizantes nitrogenados y algunos agroquímicos, principalmente herbicidas y ciertos insecticidas. La falta de redes de monitoreo en áreas críticas y la deficiencia de estudios sistemáticos siguen comprometiendo la comprensión de la situación real de la calidad del agua. La escasez de planificación y control de la ocupación territorial en los municipios brasileños también ha contribuido a aumentar el problema de la degradación de los acuíferos.

8. La calidad del agua y la salud humana

El suministro de agua seguro y adecuado es un recurso clave para el desarrollo social y económico validado por muchas organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). La Asamblea General de las Naciones Unidas y el Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas reconocieron en 2010 el derecho humano al agua potable y al saneamiento con una fuerte participación del gobierno brasileño (Heller, 2015). Sin embargo, el informe de la OMS y UNICEF (2017) señaló recientemente que sólo 71% de la población mundial (5,200 millones de personas) cuenta con un servicio de agua potable disponible cuando es necesario y libre de contaminación. Por lo tanto, el 29% de la población mundial (2,000 millones de personas) todavía no tiene acceso a este servicio. Los datos muestran que sólo 65% de la población de América Latina usa agua potable segura. Los datos de los servicios de saneamiento son más graves. Sólo 39% de la población mundial (2,900 millones de personas) usa un servicio de saneamiento seguro y gestionado (es decir, las excretas se eliminan de manera segura "*in situ*" o se tratan fuera del sitio). Para América Latina este porcentaje desciende a 22%, el valor más bajo entre todas las regiones analizadas.

La salud humana se ve afectada tanto directa como indirectamente por la calidad del agua. Los brotes de enfermedades transmitidas por el agua (cólera e infecciones como la leptospirosis y los virus) que son comunes en las zonas urbanas pueden producirse como resultado de un suministro de agua contaminado o inadecuado, que a veces afecta a miles de personas y causa muchas muertes. También pueden producirse brotes de enfermedades transmitidas por vectores, como el paludismo y el dengue, mosquitos y huéspedes intermediarios (caracoles) que albergan al gusano que causa la esquistosomiasis. A nivel mundial, hay casi 1,700 millones de casos de enfermedades diarreicas infantiles cada año. Esta enfermedad sigue siendo una de las principales causas de mortalidad y morbilidad infantil en el mundo, ya que mata a unos 525,000 niños de cinco años o menores cada año. Sin embargo, una proporción significativa de la enfermedad diarreica puede prevenirse a través del agua potable y de un saneamiento e higiene adecuados (OMS y UNICEF, 2017).

Además de este escenario clásico de peligros relacionados con la calidad del agua, otros impactos en la salud humana, debidos al uso de agua no apta para el consumo, pueden provenir de agentes tóxicos naturales (por ejemplo, toxinas biológicas,

como las de las cianobacterias y el arsénico) o de fuentes antropogénicas (plaguicidas, compuestos farmacéuticos u otros contaminantes químicos). El impacto indirecto también está relacionado con la disponibilidad de agua en la producción de alimentos. Por ejemplo, la productividad agrícola está vinculada a las consecuencias para la seguridad alimentaria en las regiones donde son frecuentes las sequías o inundaciones graves.

Al considerar la disponibilidad de agua como el primer paso para garantizar los servicios de agua potable y saneamiento, el conocimiento de que Brasil tiene 12% de la disponibilidad mundial de agua conduce a un falso concepto de un rico suministro de agua para diferentes servicios como consumo humano, uso agrícola e industrial, recreación y producción de energía. Como se señala en el presente documento, existen importantes disparidades regionales. Mientras que la región norte alcanza 68.5% del almacenamiento nacional de agua con 6.8% de la población brasileña, la disponibilidad de agua para uso humano en la región nordeste es sólo de 3.3% para 28.9% de la población brasileña. En la región más poblada y desarrollada de Brasil (es decir, el sudeste), sólo 6% de la disponibilidad de agua de Brasil abastece al porcentaje más alto de su población (42.7%) (Augusto *et al*., 2012). En promedio, 83.3% de la población brasileña recibe agua potable, pero las disparidades son grandes. En la región sureste, este porcentaje es de 91.24% y, en la región norte, de 55.38% (SNIS, 2016). Es importante señalar que 34 millones de brasileños todavía no tienen acceso a tuberías de agua potable en sus casas. Los datos recientes sobre el servicio de saneamiento refuerzan esta discrepancia regional. En promedio, 51.92% de la población tiene acceso a instalaciones de saneamiento conectadas a un sistema de alcantarillado, del cual sólo 44.92% de las aguas residuales son tratadas. En la región norte sólo 10.45% de las aguas residuales están conectadas a una red de alcantarillado, mientras que este servicio cubre 78.57% en la región sureste (SNIS, 2016).

El vínculo entre la pobreza y la aparición de enfermedades transmitidas por el agua es muy notorio. La población que carece de estos servicios se ubica predominantemente en las zonas periféricas de los centros urbanos y en las zonas de urbanización informal, lo que indica la necesidad de adoptar programas integrados de desarrollo urbano. Esta imagen concuerda con algunos datos de salud pública. En 2013, 340 mil personas fueron hospitalizadas por infecciones gastrointestinales. Si 100% de la población tuviera acceso al sistema de alcantarillado, habría una reducción, en términos absolutos, de 74,600 hospitalizaciones, de las cuales 56% ocurriría en la región nordeste (Instituto Trata Brasil-DATASUS, 2014). Entre las enfermedades transmitidas por el agua, la diarrea es la que se registra con más frecuencia. Las enfermedades relacionadas con la transmisión fecal-oral como la diarrea, la fiebre entérica y la hepatitis A fueron responsables de 87% de las hospitalizaciones provocadas por un servicio de saneamiento inadecuado entre los años 2000 y 2013.

La contaminación de los recursos hídricos, incluido el suministro de agua potable, con excrementos humanos sigue siendo una de las principales preocupaciones para la salud humana. En contraste, la importancia de los microorganismos naturales tóxicos y sus toxinas como cianobacterias/cianotoxinas y compuestos tóxicos, tales como metales pesados y contaminantes orgánicos sintéticos, sólo ha surgido en la última mitad del siglo XX. Esta preocupación está relacionada con el reconocimiento de la eutrofización artificial como un problema en desarrollo desde la década de 1950. El aumento de la eutrofización provocada por el hombre en las aguas dulces y costeras ha provocado el incremento de nutrientes y otros contaminantes. Se ha generalizado mucho más en algunas regiones donde las tasas de avance de la agricultura, la industria y la urbanización han experimentado un rápido aumento, pero sin que ello haya ido seguido de una mejora en el tratamiento de las aguas residuales. Esta eutrofización artificial afecta la calidad del agua, incluyendo una mayor incidencia de brotes de microalgas y cianobacterias, y tiene consecuencias negativas para la eficiencia y el costo del tratamiento del agua. En Brasil, este tipo de brote se intensifica por el hecho de que la mayoría de los ecosistemas acuáticos tienen las características necesarias para un crecimiento intenso de cianobacterias a lo largo del año.

Las cianobacterias no pueden considerarse microorganismos patógenos en el sentido clásico porque, aunque varias cepas de diferentes especies pueden producir metabolitos secundarios bioactivos y tóxicos para los mamíferos, una gran parte de estos compuestos sólo se liberan en el agua

después de la lisis de las células cianobacterianas. La calidad del agua puede verse más comprometida por la presencia de cianotoxinas disueltas que por formas viables de células cianobacterianas, que podrían ser eliminadas durante el tratamiento convencional del agua. Sin embargo, este procedimiento puede llevar a la ruptura de las células de estos microorganismos debido a los productos químicos utilizados durante el proceso de tratamiento. Las cianobacterias también se asocian a menudo con la producción de compuestos que son responsables del sabor y el olor en el agua potable. Aunque estos compuestos no pueden considerarse tan tóxicos como las cianotoxinas, su presencia preocupa a las autoridades sanitarias, ya que a menudo provocan el rechazo del agua potable por parte de la población, lo que a su vez la lleva a buscar fuentes alternativas de abastecimiento de agua. Los medios acuáticos situados en zonas de fuerte impacto antropogénico tenían un elevado predominio de cianobacterias y la aparición de brotes. Se han identificado especies de cianobacterias potencialmente tóxicas en al menos 11 de los 26 estados brasileños, en la mayoría de los casos en embalses de usos múltiples (Azevedo, 2005). En algunos casos, el brote de cianobacterias puede desaparecer del embalse antes de que las autoridades sanitarias lo consideren un riesgo para la salud humana. Esto sucede porque las autoridades pueden desconocer los daños potenciales resultantes de la proliferación de cianobacterias y, por lo tanto, asumen que el sistema convencional de tratamiento de agua es capaz de eliminar cualquier problema potencial.

La contaminación del agua por metales pesados y compuestos orgánicos sintéticos como pesticidas o fármacos se debe a la descarga inadecuada de aguas residuales en los medios acuáticos. Apenas recientemente, la exposición humana a ciertos metales pesados, como el metilmercurio (MeHg), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb), se reconoció como un riesgo para la salud. Los sistemas acuáticos son particularmente sensibles a los contaminantes orgánicos sintéticos debido a sus características químicas, que pueden favorecer la bioacumulación a lo largo de la cadena alimentaria acuática. Los embalses son más susceptibles a la contaminación por metales y otros contaminantes debido a su movilización a partir de suelos inundados. Una consecuencia potencial importante de las represas es la intensificación de la producción de metilmercurio, vinculada a la degradación anaeróbica de la materia orgánica. En los embalses tropicales, el proceso de metilación de Hg se ve favorecido por la alta temperatura del agua que fomenta la actividad microbiana intensificada y las condiciones reductoras en el hipolimnion (Confalonieri *et al*., 2010).

También es importante considerar que la disponibilidad de agua en Brasil depende en gran medida del clima. Los estudios sobre el cambio climático ya han indicado una reducción de la cantidad de lluvia en las regiones norte y nordeste del país de hasta 20% para finales del siglo XXI (Marengo, 2008). Los cambios en los patrones meteorológicos y climáticos están afectando a la salud humana al aumentar la morbilidad, la mortalidad, las discapacidades y la aparición de enfermedades en regiones donde antes no eran endémicas. La vulnerabilidad de la región al cambio climático, la calidad del agua y los servicios de saneamiento están asociados a múltiples factores. Es bien sabido que la escasez de agua en la región nordeste afecta la salud de la población y que la mayoría de los problemas de salud se derivan de procesos socioambientales causados por la sequía. Los brotes de enfermedades transmitidas por vectores y por el agua pueden ser desencadenados por eventos extremos. Existen algunas pruebas epidemiológicas confiables de los riesgos para la salud humana relacionados con la variabilidad del clima. La mayor parte de esa evidencia proviene de estudios sobre la malaria. El número de casos de malaria ha aumentado en las zonas urbanas y rurales de la Amazonia que están experimentando grandes cambios ambientales. El Niño provoca brotes de malaria y también se han reportado vínculos entre El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la malaria en la Amazonia (Oki & Kanae, 2006; Field *et al*. 2014). La relación entre el paludismo y El Niño se debe, en parte, a la creciente cantidad de agua superficial que proporciona sitios de reproducción para los mosquitos. A diferencia de la malaria, el dengue es una enfermedad urbana cuyo vector también se ve afectado por el clima. En Rio de Janeiro, un aumento de 1°C en la temperatura mínima mensual llevó a un aumento de 45% de casos de dengue en el mes siguiente, mientras que un aumento de 10 mm en la precipitación llevó a un aumento de 6% en casos de dengue en el mes siguiente (Gomes *et al*., 2012). La esquistosomiasis (ESQ) es endémica en las re-

giones rurales y periféricas urbanizadas de Brasil. Es muy probable que la ESQ aumente en un clima más cálido. Los hantavirus también han aumentado su prevalencia debido a El Niño y a los eventos del cambio climático. Además, la incidencia de leishmaniasis visceral ha aumentado en Brasil en relación con El Niño y la deforestación (Field *et al*., 2014).

Los datos aquí discutidos muestran que la relación entre el agua y las condiciones de salud es generalmente muy compleja y mediada por varios factores de naturaleza físico-geográfica, socio-ambiental, económica y cultural. De hecho, todos los sectores del nexo del desarrollo están interrelacionados a través del agua. El crecimiento de la población y de las actividades económicas está vinculado a la disponibilidad y uso del agua en la agricultura, la industria, el consumo de energía y los usos domésticos. Estos factores contribuyen a un aumento de la demanda de los suministros de agua locales y regionales. Estas fuerzas se están acelerando rápidamente, a menudo con cambios impredecibles que representan nuevas incertidumbres para los gestores del agua, lo que supone un riesgo creciente para la salud pública. Al mismo tiempo, el cambio climático está generando nuevas incertidumbres con respecto a los suministros de agua dulce y a los múltiples sectores del uso del agua. A medida que la disponibilidad de agua se vuelve más incierta, la sociedad se volverá más vulnerable a una amplia gama de riesgos asociados con el suministro inadecuado de agua, incluyendo el hambre y la sed, las altas tasas de enfermedad y muerte, la pérdida de productividad y las crisis económicas, y la degradación de los ecosistemas. Por lo tanto, estos desafíos exigen una implementación urgente de políticas que puedan servir como una herramienta para monitorear el acceso y uso de agua de buena calidad y sus relaciones con los indicadores de salud.

9. La calidad del agua y su impacto económico

Identificar y estimar la importancia del impacto sobre la calidad del agua es importante para los formuladores de políticas que buscan promover la gestión sostenible de los recursos hídricos y un desarrollo económico más amplio. Si no se tienen en cuenta los efectos de la externalidad, se produce una mala asignación de recursos a una combinación inapropiada de usos de la tierra y una gestión inapropiada de las parcelas individuales (Moxey, 2012). La economía del agua limpia está estrictamente relacionada con sus diferentes usos y se valorará en consecuencia para: riego agrícola, industria, hogares, recreación acuática (pesca, hábitat de vida silvestre y navegación), dilución de la carga de agua, generación de energía hidroeléctrica, conservación de la biodiversidad y salud. En Brasil, toda una serie de problemas derivados de la intensificación de las actividades humanas como la urbanización, la industrialización, la agricultura y la producción de energía conducen a impactos económicos de grandes proporciones que aún no se han medido adecuadamente, pero que sin duda son muy significativos (Tundisi *et al*., 2015). Por ejemplo, el tratamiento de agua para la producción de agua potable es extremadamente caro. Para la producción de 1,000 m^3 de agua potable a partir de fuentes degradadas se necesitan entre $60.00 y $90.00 dólares. En cambio, el costo del tratamiento de aguas prístinas y no contaminadas puede llegar a un máximo de US$ 3.00 (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2010). Sin embargo, existen otros efectos de las externalidades: hospitalizaciones por enfermedades transmitidas por el agua y horas perdidas en la escuela por ausencia; horas de trabajo perdidas por enfermedad por agua contaminada o intoxicación por sustancias tóxicas.

La recreación, el turismo y el abastecimiento público se ven amenazados por la eutrofización y la sedimentación, que representan el impacto del nitrógeno y el fósforo en las aguas residuales no tratadas y la erosión del suelo. Entre 30 y 40% de los alimentos del mundo proviene de 16% de la tierra cultivada total que se irriga; alrededor de una quinta parte del valor total de la producción pesquera proviene de la acuicultura de agua dulce; las necesidades actuales de agua potable para el ganado en todo el mundo son de 60,000 millones de litros al día (los pronósticos estiman un aumento de 400 millones de litros por año). En Brasil, sólo 5.4 millones de hectáreas se irrigan, dado su potencial de 29.6 millones de hectáreas. La escorrentía, la pérdida de suelos y la lixiviación de productos químicos son particularmente preocupantes si se tiene en cuenta el clima tropical, con precipitaciones de alta intensidad en zonas de suelos frágiles y prácticas de gestión inadecuadas.

En cuanto a la contaminación química del agua de fuentes de contaminación no puntuales como las agrícolas, el mercado brasileño de plaguicidas se encuentra en el nivel más alto del mundo. La industria de plaguicidas representó 9,710 millones de dólares, según datos de 2012, que corresponden a 823,226 toneladas de producto comercial y 346,583 toneladas de ingrediente activo sumadas a un total de 29.53 millones de toneladas de fertilizantes. Además, también deben tenerse en cuenta los efectos del cambio climático, la demografía, el uso de la tierra y el impacto de los contaminantes nuevos y emergentes en las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes son el resultado de la adición de medicamentos, cosméticos, antibióticos, hormonas, nanomateriales, pinturas y recubrimientos disueltos en las aguas de los ríos, presas y aguas subterráneas y constituyen la amenaza más reciente para la salud humana, la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Boxall, 2012).

Es indispensable formar una base de datos fiable sobre los recursos hídricos para promover políticas de recuperación y conservación (por ejemplo, la reutilización del agua y los nutrientes). Se debe dar prioridad a la evaluación económica de la contaminación del agua. Finalmente, las tecnologías avanzadas como las grandes cantidades de datos, la robótica, la Internet de las cosas y la fabricación tridimensional están haciendo realidad la integración de los espacios urbanos, rurales e industriales y las actividades de la sociedad. Se usarán modelos predictivos y simulaciones que empleen herramientas de grandes cantidades de datos para promover una gestión inteligente y a largo plazo de la calidad del agua.

10. Calidad del agua y variables sustitutas: La Cuenca del Río Alto Tietê

Recientemente se han realizado varios planes y estudios para evaluar críticamente el suministro de agua potable en Brasil. Entre ellos, existen diferentes planes de seguridad para el abastecimiento de agua en Brasil y a nivel internacional (SUS, 2012; Bensousson *et al*., 2012; OPS/OMS, 2012; BRASIL, 2014). Si bien estas publicaciones presentan buenas propuestas, no consideran aspectos fundamentales de la normalización, los criterios para el tratamiento del agua y los procedimientos operativos tradicionales brasileños adoptados por las compañías de agua. Así, la Ordenanza MS-2914/2011 se basó en normas extranjeras o en las Directrices de la OMS, sin ser adaptada a las condiciones sociales, técnicas y de salud pública de Brasil.

La evolución de las directrices y normas relacionadas con la salud pública no se basa únicamente en estudios epidemiológicos y toxicológicos. El desarrollo tecnológico, las prácticas socioeconómicas, culturales y de higiene, así como la sensibilidad y la percepción del público, desempeñan un papel fundamental en el establecimiento de directrices sobre criterios de calidad para garantizar la protección de la salud de los consumidores (Hespanhol & Prost, 1994). La labor de la OMS se divide en dos fases. La primera fase es la elaboración de las Directrices de la OMS, que se realiza con base en un enfoque riesgo-beneficio por parte de los Centros Colaboradores de la OMS (todos ellos situados en países industrializados), según su especialidad en una o varias variables. Estas directrices especifican las concentraciones máximas de diversas sustancias bioactivas en el agua potable tomando en consideración un riesgo de referencia mínimo o tolerable (riesgo de 10^{-6} para desarrollar la enfermedad en 70 años). La segunda fase, gestión de riesgos, consiste en ayudar a los países en desarrollo a preparar sus propias normas y reglamentos nacionales teniendo en cuenta sus condiciones ambientales, sociales, económicas y culturales específicas. Sin embargo, las consideraciones y políticas excesivamente restrictivas pueden poner en peligro la salud pública al no permitir su aplicación efectiva por razones económicas.

En relación con los procedimientos tradicionales dentro de las compañías de agua, muchos países industrializados reciclan las aguas de retrolavado filtradas en la planta de tratamiento de agua con tratamiento previo para evitar que las bacterias, los protozoos (principalmente *Cryptosporidium* sp.), los sólidos y la materia orgánica regresen a la planta. En Brasil, por otro lado, las aguas de retrolavado de los filtros se reciclan a la planta sin tratamiento. Esto genera una acumulación de esos contaminantes en la planta, poniendo en peligro la producción de agua segura. Ésta y otras prácticas conducen a graves problemas en el suministro público de agua. Por ejemplo, durante la sequía que afectó a São Pau-

lo en 2015 (Kelman, 2015), las compañías de distribución de agua adoptaron la medida de emergencia de detener la distribución de agua a algunos sectores de la ciudad en un lapso que osciló entre unas pocas horas y un par de días. Cuando se interrumpe la distribución de agua y los usuarios siguen extrayendo agua de la red, se produce una presión negativa en el interior de las tuberías y, debido a condiciones precarias (por ejemplo, grietas), las tuberías aspiran materia externa. Cuando se reinicia la distribución del agua, una enorme masa de contaminantes llega a los usuarios. Por lo tanto, debe prohibirse oficialmente el funcionamiento intermitente del suministro.

La Región Metropolitana de São Paulo (RMSP) comprende la ciudad de São Paulo y 38 ciudades adyacentes. Toda la zona se encuentra a 700 m sobre el nivel del mar y la mayor parte de ella está situada en la cuenca del Alto Tietê (cuenca alta del río Tietê). Actualmente, la población es de unos 21 millones de personas y se estima que alcanzará los 25 millones en 2025. Las aguas superficiales de los embalses superficiales para el abastecimiento de agua potable (Cantareira, Guarapiranga, Alto Tietê, etc.) suman 74 m^3 s^{-1}. Si se suman otros 10 m^3 s^{-1} de agua subterránea, el agua total disponible es de unos 84 m^3 s^{-1}. Aproximadamente 80% de esta agua (67 m^3 s^{-1}) se convierte en agua residual cruda. Dado que la capacidad instalada de tratamiento de aguas residuales es de sólo 18 m^3 s^{-1}, la diferencia de 49 m^3 s^{-1} se descarga sin ningún tipo de tratamiento en las vías fluviales (es decir, ríos y embalses). Esta situación crítica se agravará cuando la transposición de nuevas aguas de otros cuerpos de agua (por ejemplo, el río São Lourenço, el embalse de Paraíba do Sul, el embalse de Billings, Taiaçupeba, Itatinga-Jundiaí, Guaió, Juquiá-Santa Rita e Itapanhaú) traiga 20 m^3 s^{-1} adicionales de agua a la RMSP. Considerando pérdidas de agua entre 20 y 80% como transformación de agua en aguas residuales, esta operación generará 13 m^3 s^{-1} adicionales de aguas residuales sin tratar.

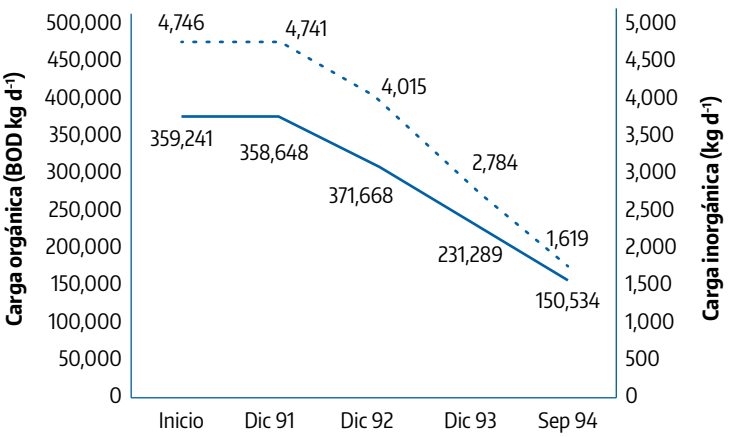
Se hicieron varios intentos para controlar la contaminación del agua en esta cuenca. Ya en 1953, la ciudad de São Paulo propuso un plan que incluía la construcción de seis plantas de tratamiento de aguas residuales a nivel secundario. Desde entonces, se han propuesto muchos otros planes; sin embargo, apenas a finales de la década de 1980 y principios de los 90 se llevó a cabo la construcción del Proyecto SANEGRAN. Este proyecto incluyó, entre otros elementos, una planta de tratamiento de aguas residuales con una capacidad de tratamiento de 63 m^3 s^{-1}. Con excepción del Proyecto SANEGRAM, ninguno de los otros proyectos se llevó a cabo.

A mediados de los años 70, una ley estatal de São Paulo (Ley Estatal nº 997, 1976) exigió a las industrias que descargaran aguas residuales en la red pública de alcantarillado siempre que fuera posible. La carga orgánica de 370,000 kg DBO d^{-1} a la salida del proceso se redujo a 150,000 kg DBO d^{-1} en septiembre de 1994, y la carga inorgánica se redujo de 4,700 a 1,600 kg d^{-1} (**Figura 1**; DBO - Demanda Biológica de Oxígeno). Este programa terminó abruptamente en septiembre de 1994.

En septiembre de 1991, el Gobierno del estado lanzó el Proyecto Tietê y el STAR (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales) para limpiar los ríos y embalses del área metropolitana de São Paulo (**Figura 2**).

Los planes para el agua potable son esenciales para hacer realidad la reutilización potable directa. La reutilización directa de agua potable debe considerar múltiples barreras complementarias para el tratamiento del agua, tales como la ultrafiltración, la ósmosis inversa de doble paso, el proceso oxidativo avanzado, el carbón activo y la desinfección. Esto permitiría producir agua de alta calidad libre de materia orgánica e inorgánica, disruptores endocrinos, contaminantes farmacéuticos y nanopar-

Figura 1. Reducción de cargas industriales entre 1991 y 1994



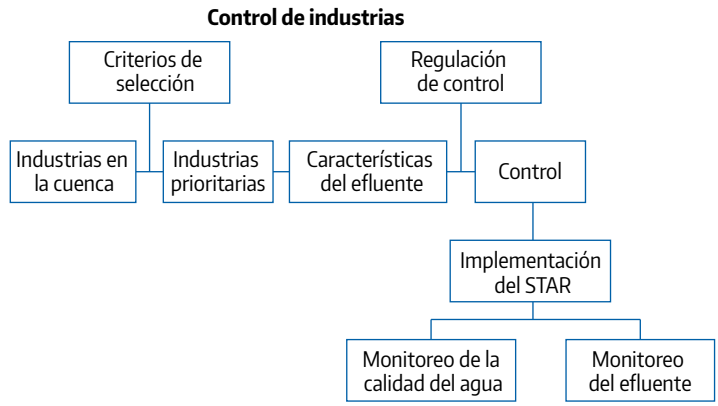
Fuente: Herman & Braga, 1997.

tículas. Se recomienda encarecidamente la creación de grupos técnicos para estudiar, debatir y elaborar reglamentos y normas sobre la calidad del agua. Estos estudios deben ser sustentados por científicos, microbiólogos, epidemiólogos, toxicólogos, biólogos e ingenieros ambientales de Brasil y del exterior para producir regulación bajo las condiciones brasileñas y no sólo el punto de vista sesgado de los especialistas de las empresas de agua y de las entidades de regulación sanitaria y ambiental. Además, si los responsables de la toma de decisiones no consideran el control de la fuente, la calidad del agua producida por los sistemas convencionales se degradará aún más rápido. Es por lo que el control de la fuente debe ser obligatorio en todos los planes de calidad del agua.

Se presenta una nueva generación de normas centradas en un nuevo paradigma para reformular la metodología convencional y los criterios para evaluar los programas asociados a la salud pública, tales como el agua potable, la reutilización del agua y los usos de los lodos en la agricultura. Esta nueva generación de normas hará que los planes de seguridad del agua sean más realistas y reducirá los costos de monitoreo. El término sustituto se utiliza para indicar uno para un grupo de variables. Se utilizan variables sustitutas como microorganismos, partículas o sustancias para evaluar el destino de los patógenos en el medio ambiente. El descubrimiento de la coliforme *Escherichia coli* en las heces y los métodos utilizados para su identificación en aguas contaminadas revolucionaron el campo sanitario, ya que *E. coli* podía ser utilizada como un simple indicador de muchos organismos patógenos transmitidos por el agua. Si hay *E. coli* en el agua, es probable que también tenga otros contaminantes. Por lo tanto, su uso como variable sustitutiva ayuda a evaluar la eficiencia del tratamiento del agua (Sinclair *et al*., 2012). Hoy día se utilizan varias variables sustitutas. La más conocida es la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), que se usa para evaluar la concentración de materia orgánica biodegradable en el agua, las aguas residuales y los efluentes industriales.

Las variables sustitutas deben ser evaluadas por su correlación con grupos de variables representadas en términos de Priorización Cualitativa de Atributos Sustitutivos (Qualitative Surrogate Attribute Prioritization, QSAP), que deben ser certificadas por la Evaluación Cualitativa de Riesgos Microbianos (Qualitative Microbial Risk Assessment, QMRA). Ya no deben basarse en la propuesta de variables por parte de "especialistas". La **Figura 3** muestra un esquema conceptual para la toma de decisiones a partir de la definición del tema específico a regular y la elaboración de un listado de posibles variables sustitutorias en función de los aspectos prácticos, biológicos y ambientales de interés. La QMRA selecciona las variables más adecuadas, determina el nivel de exposición, la relación dosis-efecto y el riesgo.

Figura 2. Esquema del programa STAR

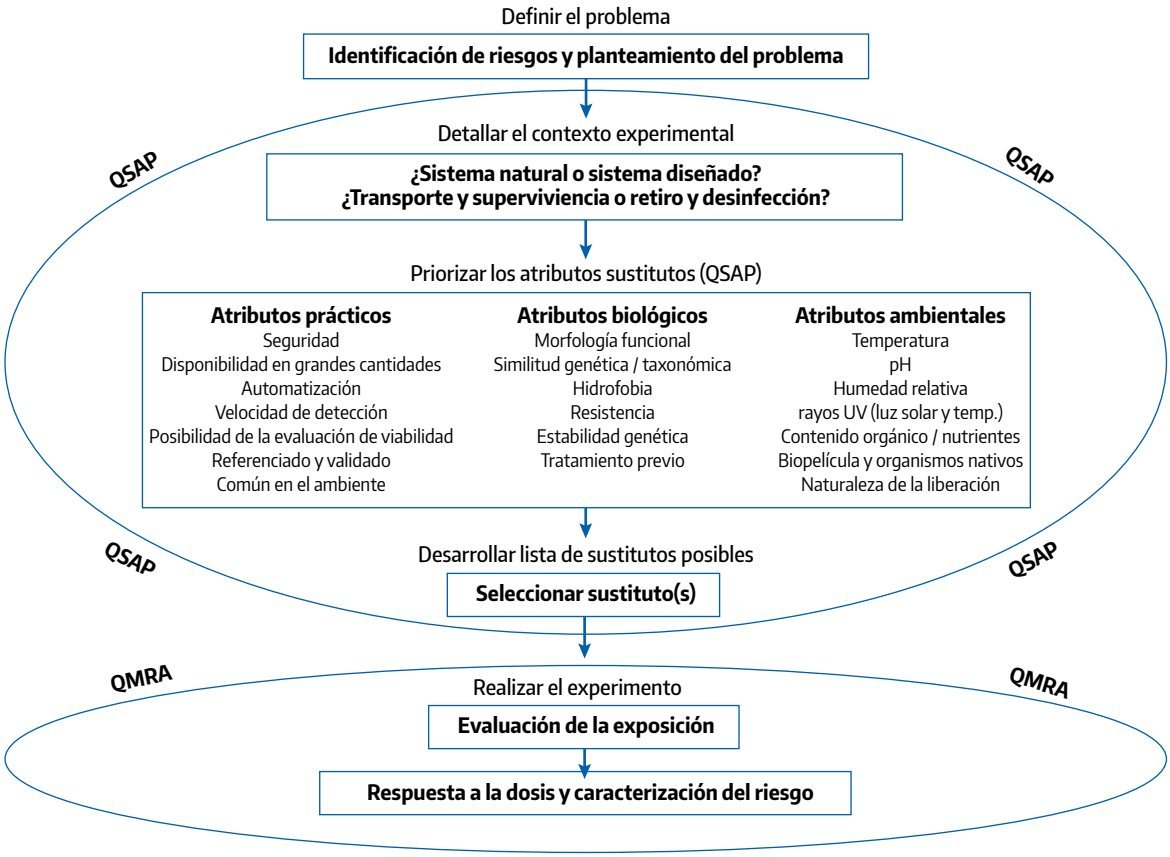


Fuente: Herman & Braga, 1997.

Se han empleado variables sustitutas para evaluar la calidad de las aguas de reutilización para usos potables. Por ejemplo, esta práctica ya se ha aplicado en Perth, Australia, donde la planta de tratamiento avanzado de aguas residuales de Beenyup fue equipada con membranas de ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección por radiación UV. El efluente se infiltra a través de la recarga de acuíferos gestionados en el acuífero arenoso de Leederville, que actúa como amortiguador ambiental, para producir agua potable (Australian Water Corporation, 2013).

Esta discusión es relevante para presentar algunos aspectos básicos de la regulación en Brasil, con énfasis en la cuenca del río Alto Tietê en São Paulo. Una profunda evaluación sobre el funcionamiento de la mecánica de mando y control en São Paulo llevó esta discusión a cuestionar si los parámetros adoptados para controlar la calidad del agua son coherentes o no con la realidad actual. Esta eva-

Figura 3. Estructura conceptual de las decisiones de selección de variables sustitutas (Sinclair *et al.*, 2012) para trihalometanos (Edzwald *et al.*, 1985).



luación se centró en la forma en que la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental del estado (CETESB) monitorea las descargas de efluentes industriales. En términos prácticos, es notorio que las normas adoptadas como referencia en São Paulo, así como en el resto del país, se copian de las directrices de la OMS y de la USEPA (la que sea más restrictiva, a veces redondeando algunos números). Esta premisa va, desafortunadamente, en contra de lo que la OMS defiende sobre la adaptación de sus directrices a las normas locales para la evaluación de riesgos relacionados con el consumo de agua. Por lo tanto, el uso de valores internacionales preestablecidos sin evaluación adicional puede poner en peligro el objetivo principal del análisis de riesgos, que es garantizar la seguridad de los consumidores. Las principales preguntas que surgen en el escenario actual son: (1) ¿Existen en Brasil compuestos que representen un riesgo para la salud humana, pero que no sean considerados ni por la OMS ni por la USEPA? y (2) ¿Están invirtiendo las personas en Brasil recursos valiosos para monitorear compuestos que tal vez ni siquiera estén presentes en las aguas locales?

11. Riesgos emergentes para la calidad del agua: cambio climático

En los últimos 50 años, el enriquecimiento de nutrientes (particularmente nitrógeno y fósforo) debido a las actividades humanas ha fomentado la aceleración de los índices de eutrofización. Los desarrollos urbanos, industriales y agrícolas son las principales causas de este proceso. En los ecosistemas de agua dulce, la disponibilidad de fósforo se ha considerado un factor clave para limitar el crecimiento de las algas. La proliferación de cianobac-

terias se previene así por la falta de fósforo en los ecosistemas de agua dulce (Schindler *et al*., 2008). Sin embargo, el aumento de la carga de nitrógeno a tasas más altas que el fósforo también puede estimular la eutrofización de los ecosistemas estuarinos, costeros y de agua dulce en todo el mundo (Paerl & Dawnl, 2012). Además de la eutrofización por exceso de fósforo y nitrógeno, otro proceso actúa eficazmente como estimulador del crecimiento de cianobacterias y del deterioro de la calidad del agua: los cambios climáticos en el sistema hidrológico que afectan al medio físico y químico, el metabolismo, las tasas de crecimiento y la formación de brotes (Paerl *et al*., 2011).

Un aumento de 2°C de la temperatura de las aguas superficiales puede afectar la tasa de crecimiento de todas las especies de fitoplancton y promover un rápido aumento de las tasas de crecimiento de cianobacterias, lo que ocasiona las floraciones de brotes (Paerl & Huismain, 2008). Las grandes masas de cianobacterias cambian considerablemente la calidad del agua debido a la producción de enzimas antioxidantes y otros excrementos. Esto deteriora la calidad del agua en los cuerpos de agua y tiene consecuencias negativas para la sociedad, como se ha descrito anteriormente en este documento.

Las sustancias tóxicas producidas por algunas especies de cianobacterias también pueden añadirse al contenido de materia orgánica disuelta del agua e interferir con el pH y el equilibrio físico-químico. Esto también puede llevar a la muerte masiva de peces y aves acuáticas y, en consecuencia, tener un impacto en la salud humana. En los últimos 20 años se han ido acumulando pruebas de los impactos del cambio climático y sus efectos sobre las condiciones hidrológicas y de calidad del agua en lagos y embalses. Por ejemplo, un estudio de 143 lagos a lo largo de un gradiente latitudinal desde el norte de Europa hasta el sur de Sudamérica reveló un aumento de la biomasa de fitoplancton impulsado por cianobacterias que estaba directamente relacionado con la temperatura (Kosten *et al*., 2011). En cuanto a la distribución geográfica, *Cylindrospermopsis raciborskii* tiene una fuerte capacidad de adaptación, prefiere temperaturas del agua por encima de los 20°C y se adapta a condiciones de poca luz. Hoy día, está muy extendida en todos los continentes. En Brasil, Tundisi *et al*. (2005) reportaron un efecto del cambio global detectado en el embalse de Lobo-Broa, en el estado de São Paulo. Los cambios en el ciclo hidrológico debidos al cambio climático, que provocan fenómenos extremos como periodos de sequía más prolongados seguidos de lluvias torrenciales, también influyen en el crecimiento del fitoplancton. Esta relación se describe con mayor detalle más adelante en este texto (16. Estudio de caso: Embalse de Broa).

12. Riesgos emergentes para la calidad del agua: agricultura (pesticidas, herbicidas, hormonas)

En los últimos años, ha aumentado la preocupación por los riesgos ambientales de los Contaminantes Emergentes (CE). Los CE proceden de una variedad de productos, entre los que se incluyen los productos farmacéuticos para uso humano, los medicamentos veterinarios, los nanomateriales, los productos de cuidado personal, las pinturas y los revestimientos. Algunos CE no son necesariamente sustancias químicas nuevas; pueden ser sustancias preexistentes en el medio ambiente, pero cuya presencia e importancia recién se están reconociendo. Algunos ejemplos son los productos naturales y de transformación de productos químicos sintéticos formados en el medio ambiente por procesos bioquímicos en animales, plantas y microbios. Los datos sobre los CE suelen ser escasos y los métodos de detección en el ambiente natural pueden ser inexistentes o estar en sus inicios.

La evaluación del destino y los efectos de los CE en el ambiente incluye la investigación de compuestos como tensioactivos, antibióticos y otros productos farmacéuticos, hormonas esteroides y otros compuestos que alteran el sistema endocrino (endocrine-disrupting compounds, EDC), retardantes del fuego, bloqueadores solares, subproductos de la desinfección, pesticidas nuevos y sus metabolitos y toxinas de algas que se producen de manera natural. La detección de estos contaminantes en las matrices ambientales (agua, aguas residuales, suelos y sedimentos) es particularmente difícil debido a los bajos límites de detección requeridos, la naturaleza compleja de las muestras y la dificultad de separar estos compuestos de las interferencias. Las nuevas técnicas de extracción y limpieza, junto con

las mejoras en las tecnologías instrumentales para proporcionar la sensibilidad y especificidad necesarias para realizar mediciones precisas, son muy prometedoras.

Los contaminantes relevantes son los CE (particularmente las hormonas y los esteroides anabólicos), los antibióticos y otros productos farmacéuticos relacionados con las aguas residuales, y los genes de resistencia a los antibióticos en bacterias y priones (Snow *et al*., 2009; 2017). En América Latina y los países tropicales existen muy pocos estudios y ninguno de ellos está dirigido específicamente a los entornos agrícolas (Sodré *et al*., 2010; Campanha *et al*., 2015; Machado *et al*., 2016). Los estudios relacionados en sistemas agrícolas han detectado una serie de CE que generalmente informan de concentraciones muy bajas (es decir, en el rango ng L^{-1}) (Boxall, 2012). Se detectaron en aguas CE de diferentes clases, como triclosán, cafeína, atrazina, paracetamol, atenolol, estrona, 17-β-estradiol, estigmasterol, colesterol y bisfenol. Los impactos de los CE en y desde los sistemas agrícolas serán cada vez más relevantes en el futuro próximo en el escenario del uso de la tierra, el crecimiento demográfico, el cambio climático, el aumento global de la demanda de alimentos, fibras y energía y su impacto en el suministro agrícola. Además, se espera que en las próximas décadas se intensifiquen las prácticas agrícolas. Los recursos naturales como la tierra, el agua, el aire y la biodiversidad serán muy escasos y la frontera espacial que separa las zonas urbanas de las rurales desaparecerá. Por último, los responsables políticos y los científicos tendrán que cooperar para crear una lista inicial de prioridades de los CE en materia ambiental para responder a las demandas de los consumidores en cuanto a la seguridad y a la falta de modelos conceptuales para los CE en el ámbito del medio ambiente. Ya existen planes de evaluación de riesgos ambientales en algunas regiones, pero se necesitan con urgencia estrategias de investigación y políticas para los CE y la agricultura en las regiones tropicales.

13. Reducir la vulnerabilidad: zonas urbanas

Hoy día, las ciudades son el motor del desarrollo económico de varios países desarrollados y en vías de desarrollo. Más de 50% de la población humana mundial es urbana. En América Latina, 82% de la población humana vive en grandes metrópolis o en ciudades medianas o pequeñas. Por lo tanto, la calidad del agua en las regiones urbanas es fundamental para la sostenibilidad. La vulnerabilidad de las ciudades está relacionada con la falta de saneamiento, especialmente en las regiones periurbanas, y el bajo porcentaje de tratamiento de las aguas residuales (en América Latina sólo se trata 20% de las aguas residuales). Otro problema del ecosistema urbano es la deforestación de las cuencas de las partes altas de las ciudades que las abastecen de agua. La deforestación provoca pérdidas en la cantidad de agua debido a la falta de reposición de los suministros superficiales y subterráneos. Al mismo tiempo, las áreas deforestadas también reducen la calidad del agua y se necesita más tratamiento químico para producir agua potable (Tundisi *et al*., 2010).

La gestión integrada de los recursos hídricos, que tiene en cuenta la calidad y cantidad del agua en las fuentes superficiales y subterráneas, es fundamental para reducir la vulnerabilidad de las ciudades a la seguridad del agua. La protección de la vegetación ribereña y de la vegetación existente en las fuentes de suministro es una medida importante que promueve la reposición de agua y produce activamente una mejor calidad del agua (Tundisi *et al*., 2015). El tratamiento de aguas residuales y la reutilización del agua son otras medidas importantes de gestión con impactos económicos y en la salud humana. La reutilización del agua es una oportunidad de bajo costo para aumentar el suministro actual de agua (Nasiri *et al*., 2013). El monitoreo de las fuentes de agua superficiales y superficiales alrededor de las ciudades y en los ríos urbanos es otra medida de sostenibilidad consistente. Con este monitoreo se pueden optimizar los flujos de información y la participación de las personas y estimular la comunicación en las ciencias del agua y la planificación hídrica.

La implementación de parques forestales urbanos podría aumentar la sostenibilidad y promover la creación de áreas verdes en las ciudades, al mismo tiempo que se crean nuevas oportunidades para la educación, la investigación, el suministro de agua, la atmósfera y el aire limpio. Igualmente importante es la protección de los humedales naturales en las cuencas hidrográficas de las zonas urbanas. La

introducción de legislación nueva y avanzada en los municipios podría contribuir considerablemente a la reducción de la vulnerabilidad urbana, así como 1) estimular programas de revegetación de las zonas urbanas; 2) descentralizar los sistemas de tratamiento de aguas residuales; 3) utilizar el agua de lluvia en nuevos edificios y casas; y 4) impartir nuevos cursos sobre el ambiente en las escuelas. La reducción de la vulnerabilidad a la seguridad del agua en los ecosistemas urbanos implica la adopción de medidas biogeofísicas, económicas y sociales con una base científica y tecnológica fuerte y una participación vigorosa de la población.

14. Reducir la vulnerabilidad: el sector minero

El agua ha sido reconocida como un recurso estratégico para el sector minero, ya que la mayoría de los procesos necesitan cantidades considerables para operar. La participación del sector minero en el consumo total de agua es pequeña (< 10%) en comparación con la agroindustria (> 70%) (ANA, 2017). Sin embargo, no se pueden descuidar las interferencias locales sobre los recursos hídricos, especialmente a la luz de los eventos de escasez de agua en lugares donde tradicionalmente se ha considerado que los recursos hídricos son abundantes. El agua también se ha vuelto una de las causas más significativas de tensión social y económica entre la industria y las comunidades locales, que a su vez suelen estar preocupadas por los riesgos de agotamiento y deterioro de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Estos conflictos influyen directamente en la forma en que la sociedad percibe las operaciones mineras y, a su vez, en la capacidad del sector para lograr la licencia social para operar. En resumen, hay varias razones para reducir las vulnerabilidades mediante la mejora de la gestión del agua: (1) aumentar el acceso a los recursos hídricos; (2) reducir los riesgos de gestión (por ejemplo, reduciendo el consumo de agua y creando un uso autosuficiente del agua, con una menor necesidad de nuevos recursos); (3) disminuir la competencia con otros usuarios, especialmente durante eventos de escasez y otras condiciones extremas; (4) ahorrar agua potable para la preservación de la vida; y (5) construir una relación positiva con las partes interesadas para asegurar la licencia para operar, entre otros factores.

En consecuencia, el aumento de la eficiencia en el uso del agua ha sido quizás la principal fuerza impulsora de los recientes avances que hemos visto en el sector minero. El aumento del reciclaje de agua y el uso de agua salina, salobre, de alcantarillado y de lluvia, disminuyendo así el uso de agua noble; la disminución de fugas y pérdidas en las operaciones industriales son algunas de las mejoras que merecen ser destacadas. También cabe mencionar la creciente participación del sector minero en la búsqueda de soluciones para la escasez de agua en las zonas urbanas cercanas (Ciminelli *et al*., 2015). Existen diversas experiencias industriales que demuestran que el aumento de la eficiencia en el uso del agua se traduce en la reducción de costos y en la generación de nuevos ingresos. Esto crea un ciclo virtuoso y estimula nuevas y ambiciosas inversiones.

¿Cuáles son los principales desafíos? El primero es quizás el hecho de que el sector es bastante heterogéneo y, por lo tanto, las buenas prácticas deberían difundirse entre todos. Otro tema a tratar es el creciente número de minas artesanales o garimpo, a menudo ilegales, en muchas regiones de América Latina. Esto crea impactos incontrolados en los recursos hídricos y una gran vulnerabilidad en los territorios minados. Los impactos de la minería artesanal no son causados por la falta de tecnología; se trata más bien de una cuestión social y económica relacionada con la falta de educación e infraestructura, la pobreza y la desigualdad, la prevalencia de intereses económicos y la incapacidad del Estado para aplicar políticas públicas y hacer cumplir la ley. El fracaso en 2015 de una presa de relaves en Brasil aumentó la presión sobre la gestión del agua y los relaves y puso más énfasis en las operaciones menos dependientes de agua, como el procesamiento en seco y la eliminación de relaves en seco.

Por último, es evidente que la seguridad del agua es esencial para que la industria minera siga siendo competitiva y no puede lograrse sin el compromiso de todas las partes interesadas. Es necesaria la cooperación entre las diferentes cadenas de producción, entre la industria, la sociedad y los organismos gubernamentales. Un enfoque integrado, sistémico y multidisciplinario para evaluar la calidad y disponibilidad del agua debe apoyarse sobre una base de datos sólida, bien diseñada y fiable (por

ejemplo, métricas en tiempo real). Es de esperar que en el futuro se compartan experiencias, conocimientos, competencias, información y responsabilidad. Este enfoque es cada vez más necesario para garantizar una buena calidad de vida y la sostenibilidad de los territorios compartidos.

15. Reducir la vulnerabilidad: biodiversidad

Brasil es conocido por ser uno de los países más ricos del mundo en términos de biodiversidad. Estamos muy orgullosos de reconocer a Brasil como un país megadiverso. Sin embargo, ¿qué se sabe efectivamente de esta megadiversidad? Desde 2009, Brasil muestra cierta preocupación por la preservación de su biodiversidad, principalmente la acuática. También en 2009, un proyecto de investigación realizado por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) advirtió sobre el riesgo de extinción de al menos 238 especies, lo que creó cierta preocupación en instituciones gubernamentales, no gubernamentales y privadas. Esta preocupación también fue demostrada por el Ministerio Federal de Medio Ambiente que admitió, en su momento, que fracasó en el intento del país por mejorar la gestión de los recursos pesqueros para beneficiar significativamente el proceso sostenible y, en consecuencia, las condiciones de la biodiversidad acuática en el país.

En 2018, también se hizo muy poco para mejorar este escenario, de manera que Brasil podría iniciar un ciclo de grandes avances en las actividades pesqueras sin estar debidamente preparado. Sin embargo, la biodiversidad no se limita a los peces y otros productos marinos, sino que es un término muy amplio que considera, en el caso de la biodiversidad acuática, tanto el conjunto de los ecosistemas acuáticos continentales, costeros y marinos como los organismos que viven o pasan parte de su ciclo biológico en dichos entornos. En comparación con el conocimiento sobre la pérdida de diversidad en los océanos, principalmente de especies de peces de interés económico, poco o casi nada se sabe sobre otros animales marinos, y mucho menos sobre las especies de agua dulce.

Hace muy poco que Brasil ha reconocido la crisis de la biodiversidad. Tal vez, el único intento de medir la pérdida de biodiversidad, en vista del continuo agravamiento del problema de la eutrofización sea la serie temporal de Garças. Este registro incluye 21 años de muestreo mensual ininterrumpido de fitoplancton y evaluación simultánea de las características ambientales del embalse de Garças, un sistema ubicado en el Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, en el sur del municipio de São Paulo. Además, reveló que de las 36 especies de cianobacterias que se sabía que existían en el embalse en 1997, sólo cuatro permanecieron después de una pérdida abrupta entre diciembre de 2003 y octubre de 2008, lo que resultó en una pérdida de riqueza y diversidad de especies. Entre las especies restantes, el *Planktothrix agardhii* formó 97-98% de la biomasa total en noviembre-diciembre de 2005. *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis panniformis* y *Cylindrospermopsis raciborskii* fueron las otras especies, todas ellas cianobacterias, que prevalecieron en la creciente eutrofización del embalse.

Algunas medidas se usan ampliamente en varias partes del mundo en un intento de mitigar la eutrofización y la pérdida de biodiversidad. Entre ellas se encuentran: mejores prácticas de manejo con optimización en el uso de fertilizantes, reducción de la ganadería intensiva, mejora del tratamiento de aguas residuales, restauración de humedales perdidos para aumentar la capacidad de retención de P y N (mitigación de cargas difusas de nutrientes), restablecimiento de zonas de amortiguamiento a lo largo de los ríos (bosques ribereños) y la restricción de agua por parte de los seres humanos (retroceso de la agricultura intensiva en áreas más vulnerables, mejora del reciclaje de agua en las cuencas hidrográficas, mejora de la eficiencia de la asignación de agua para sus distintos usos y control de la sequía de manera más consistente).

Los retos a los que se enfrentará Brasil exigirán mucho más esfuerzo que el que se ha hecho en Europa. La situación brasileña se ve agravada por la falta de una base científica consolidada para el país y el clima más cálido, lo que puede conducir a estrategias de gestión ineficaces de los ecosistemas acuáticos. Es absolutamente urgente, por lo tanto, establecer amplios programas de investigación multidisciplinaria que persigan, en la medida de lo posible, síntesis, inferencias y producción de información basada en el monitoreo de series temporales, así como la definición de posibles vacíos científicos en relación con la biodiversidad brasileña.

16. Estudio de caso: embalse broa

La Central Hidroeléctrica Carlos Botelho-UHE (Embalse de Lobo/Broa) fue seleccionada en 1971 para un programa de investigación ecológica. En los últimos 47 años, los continuos muestreos y estudios permitieron una caracterización completa de este ecosistema artificial y su cuenca (Tundisi & Matsumura Tundisi, 2013). Se estudiaron bien los mecanismos de funcionamiento del embalse, lo que permitió tomar medidas para mantener una buena calidad del agua (es decir, baja conductividad, con una media de 10-20 μScm^{-1}) mediante turbulencia periódica con reoxigenación de toda la columna de agua, alta saturación de oxígeno (80-100%), bajo tiempo de retención (< 20 días) y un crecimiento extensivo de macrófitas en las cabeceras de las cuencas, que previnieron, en última instancia, la aparición de elevadas cargas de nutrientes y la eutrofización. La composición del fitoplancton era consistente con la característica oligomesótrofa del embalse: predominio de diatomeas y clorofíceas con un máximo de 10µg/l de clorofila. Sin embargo, en el invierno de julio de 2014 se observaron los siguientes cambios: una fuerte floración de cianobacterias ocurrió por primera vez en el embalse. Esta cianobacteria (*Cylindrospermopsis raciborskii*) es una especie invasora. Se midieron niveles muy altos de clorofila (hasta 100µg/l) y también se detectó una alta concentración y entrada de fósforo. La explicación de esta floración repentina se puede atribuir a los siguientes factores: 1) aumento de hasta 2°C por encima de la temperatura media del agua durante el invierno; 2) disminución de las lluvias durante el verano (30% menos de la media anual de 1,500 mm); y 3) aumento del tiempo de retención (de <20 días a 60 días) con el fin de mantener los volúmenes para la producción hidroeléctrica (Tundisi y Matsumura-Tundisi, 2018). Los efectos en la economía general de la región y en los servicios de los ecosistemas ya estaban cuantificados (Periotto y Tundisi, 2013).

Como describen Paerl y Huisman (2008), el calentamiento global afecta los patrones de precipitación y sequía. Los cambios en el ciclo hidrológico aumentaron el dominio de las cianobacterias. Las lluvias torrenciales después de periodos de sequía prolongados aumentaron el ingreso de nutrientes, lo que favoreció el crecimiento del fitoplancton. Durante los periodos de sequía, el tiempo de residencia aumenta y favorece las floraciones. Otra consecuencia de este proceso es la prevención de la descarga de sílice en el reservorio, lo que reduce el crecimiento de diatomeas debido a los largos periodos de sequía. El embalse de Lobo/Broa tuvo un predominio de *Aulacoseira italica* durante muchos años debido a las concentraciones de sílice de hasta 5mg/l. Este efecto de la reducción de sílice fue descrito por Schindler (2006) en una revisión de la eutrofización. Como resultado, el embalse de Lobo/Broa es actualmente eutrófico. A nuestro entender, esto es una clara evidencia del efecto de los cambios globales en un ecosistema de agua dulce local y regional.

Los conceptos y la información científica producidos en los últimos 47 años constituyen la base de la planificación ambiental. La selección de los criterios se basó en los mecanismos generales de funcionamiento y en la estructura jerárquica de los subsistemas. Estos criterios se eligieron sobre la base de los siguientes principios:

i. El mantenimiento de los procesos básicos de la cuenca como la entrada de material alóctono de origen orgánico en los ríos y el bajo tiempo de residencia en el embalse.
ii. El mantenimiento de la heterogeneidad espacial a partir de la diversidad que presentan los bosques de galería a lo largo de los arroyos y los compartimentos con macrófitas en la parte superior del embalse.
iii. El mantenimiento de una calidad adecuada de las aguas superficiales (ríos, pequeños humedales poco profundos, embalses) y subterráneas.
iv. La regulación por ley y proyectos de educación ambiental sobre el uso de (1) el embalse y (2) la cuenca hidrográfica para recreación u otras actividades.
v. El cese de todas las actividades que se sabe que causan daños severos a los ecosistemas regionales, tales como las operaciones mineras, la remoción de vegetación, la introducción de especies de peces exóticos en el embalse (que comenzó en la década de 1960), la sobrepesca y las actividades que podrían perturbar la vida silvestre en general.

Esta planificación produjo una síntesis completa de las actividades basadas en los siguientes sistemas y compartimentos:

i. La cuenca hidrográfica.
ii. El propio embalse y su interacción con la cuenca hidrográfica.
iii. Los pequeños ríos y arroyos y el patrón de drenaje.
iv. La vegetación y los bosques de galería.
v. La vegetación macrófita en los ríos pequeños
vi. La conservación del suelo.
vii. La calidad del agua; su conservación; los problemas sanitarios.

Considerando el contexto más amplio, la planificación ambiental de la cuenca consistió en la ayuda permanente de las pequeñas comunidades en el monitoreo de la calidad del suministro de agua (superficial o subterránea) y en técnicas de estudio de los ecosistemas regionales. La recreación, la agricultura a pequeña escala y la pesca son las principales actividades que se realizan en la cuenca y el embalse. Las directrices para estas acciones, así como los programas de educación ambiental, introdujeron un sistema permanente de monitoreo con el objetivo de restablecer los servicios ambientales perdidos.

17. Estudio de caso: Embalse Guarapiranga

Guarapiranga es un embalse emblemático en Brasil y representa un escenario desafiante entre la buena calidad del agua y la urbanización. La construcción de este embalse para la generación de energía eléctrica para la ciudad de São Paulo comenzó en 1906 y terminó dos años más tarde. Debido al rápido crecimiento de la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP), con una población aproximada de 800,000 habitantes, Guarapiranga se convirtió en 1929 en uno de los más importantes sistemas de abastecimiento público de agua, además de ser responsable de otros servicios ambientales para la región. Hasta mediados de los años 60, los cambios en el uso y ocupación del suelo no afectaron el escenario rural que predominaba en los márgenes del embalse. A pesar de que la población y el crecimiento urbano cambiaron de ritmo entre 1940 y 1960, fue en gran medida después de los años 70 cuando se desarrolló una mayor ocupación urbana y se acumularon altas densidades de parcelas hacinadas y de núcleos de tugurios, todo ello en paralelo a la falta de una infraestructura adecuada de saneamiento para la ocupación del ambiente. Así, a partir de los años 70, este antiguo embalse aislado pasó a formar parte del entramado urbano.

La recuperación histórica de los cambios ambientales se obtuvo a partir de "pistas" proporcionadas por distintos marcadores ambientales registrados en los núcleos sedimentarios que incluían 100 años de historia del embalse. El estado eutrófico data de 1960 y está fuertemente asociado con la entrada de efluentes domésticos y el crecimiento del impacto del uso de la tierra y la ocupación. La eutrofización desencadenó la aparición y el aumento de brotes de cianobacterias potencialmente tóxicas en el reservorio. Tales organismos ameritan una gran preocupación ya que son la causa de varios problemas económicos, ambientales y de salud, como se describió anteriormente en este capítulo. Históricamente, a principios de los años 80, los brotes de cianobacterias empezaron a ser mucho más frecuentes, lo que afectó el proceso de tratamiento de las aguas destinadas al abastecimiento público. A lo largo de los años 1990 y 1991 una fase de eutrofización severa en el embalse acompañó a los primeros informes de casos de trastornos gastrointestinales debidos a cianobacterias (*Dolichospermum solitarium*) que afectaron a la población que dependía del agua del embalse. También se detectaron marcadores de contaminación relacionados con la concentración de microcontaminantes inorgánicos (por ejemplo, hidrocarburos policíclicos aromáticos, HPA). La disminución de la proporción de C:N de aguas arriba a aguas abajo en el embalse y el consiguiente aumento del nitrógeno total, los valores de $\delta^{15}N$ sugirieron un aumento en la descarga de aguas residuales en la sección final del embalse. Los altos valores de coprostanol (esterol fecal) confirmaron la presencia de aguas residuales en 70% de las estaciones de muestreo que se usaron para la evaluación de la calidad ecológica del agua del embalse. En la zona aguas arriba del embalse, las capas superficiales presentaban menor influencia fecal y una mezcla de fuentes de C y N que oscilaban entre

algas y macrófitas. Estas fuentes fueron representadas por los valores intermedios de la proporción de C:N y $\delta^{13}C$ y por el predominio del campesterol, un esterol de algas.

La ineficiencia del sistema de recolección y tratamiento de efluentes domésticos mostró que el embalse ha estado recibiendo de manera puntual, pero intensa, altas cargas orgánicas de sus cuencas hidrográficas contribuyentes durante las últimas tres décadas. Sumado al escenario de disminución de la disponibilidad de agua entre los años 2013 y 2015, el embalse de Guarapiranga está a punto de agotar su poder depurador. De esta manera, el embalse pasará de una eutrofización y una influencia intensa de las aguas residuales a una situación de contaminación fecal en la que sus funciones ecológicas colapsarán. Se puede obtener información muy detallada sobre el embalse en Bicudo y Bicudo (2017). El embalse de Guarapiranga es un legado de desafíos y lecciones que deben ser considerados durante la preservación y recuperación de todos los embalses amenazados por la urbanización.

Referencias bibliográficas

Agência Nacional de Águas (ANA) (2017). *Water resources in Brazil 2017: full report. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno.* Brasília: ANA. 169 pp. (en portugués).

Agência Nacional de Águas (ANA) (2010). *Atlas Brazil. Urban water supply.* http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx (en portugués).

Alonso, L.R. & Serpa, E.L. (1994). *O Controle da poluição Industrial no Projeto Tietê, 1994*. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

Agência Nacional de Águas (ANA) (2005). *Cadernos de Recursos Hídricos. Panorama do enquadramento dos corpos d'água.* Ministério do Meio Ambiente.

Augusto, L.G.S., Gurgel, I.G.D., Câmara Neto, H.F., Melo, C.H. & Costa, A.M. (2012). The global and national context regarding the challenges involved in ensuring adequate access to water for human consumption. *Ciência & Saúde Coletiva* 17(6): 1511-1522.

Australian Water Corporation, Project Water Forever-Whatever the Weather (2013). *Beenyup Advanced Water Treatment Plant: The Perth, Australia.*

Azevedo, S.M.F.O. (2005). South and Central America: toxic cyanobacteria. En: Codd, G.A., Azevedo, S.M.F.O., Bagchi, S.N., Burch, M.D., Carmichael, W.W., Harding, W.R., Kaya, K. & Utkilen, H.C. (eds.). *Cyanonet: a global network for cyanobacterial bloom and toxin risk management.* Paris: UNESCO-IHP. pp. 115-126.

Barbiero, L., Queiroz Neto, J.P., Gionei, G., Sakamoto, A.Y., Capellari, B., Fernandes, E. & Valles, V. (2002). Geochemistry of water and ground water in the Nhecolândia Pantanal of Mato Grosso, Brasil: variability and associated processes. *Wetlands* 22(3): 528-540.

Barbiero, L., Rezende Filho, A., Furrquin, S.A.C., Furian, S., Sakamoto, A.Y., Valles, V., Graham, R.C., Fort, M., Ferreira, R.P.D. & Queiroz Neto, J.P. (2008). Soil morphological control on saline and freshwater lake hydrogeochemistry in the Pantanal of Nhecolância, Brazil. *Geoderma* 148: 91-106.

Bicudo, C.E.M. & Bicudo, D.C. (2017). *100 anos da Represa de Guarapiranga: lições e desafios.* Curitiba: Editora CRV. 504 pp.

Bourgeois, J.C., Walsh, M.E. & Magnon, G.A. (2004). Treatment of drinking water residuals: comparing sedimentation and dissolved air flotation performance with optimal cations ratios. *Water Research* 38: 1173-1182.

Boxall, A.B.A. (2012). *New and emerging water pollutants arising from agriculture.* OECD study. 49 pp. www.oecd.org/agriculture/water

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Portaria da Consolidação no 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. O Anexo XX dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes; e dá outras providências.

Campanha *et al*. (2015). A 3-year study on occurrence of emerging contaminants in an urban stream of São Paulo State of Southeast Brazil. *Environ Sci Pollut Res Int.* 22(10): 7936-7947.

CETESB (2016). Contaminated areas. Portal do Governo do Estado de São Paulo. http://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/ (en portugués).

Ciminelli, V.S.T., Salum, M.J.G., Rubio, J., Peres, A.E.C. (2015). Water and Mining (Água e mineração). En: *Águas Doces no Brasil- Capital Ecológico, Uso e Conservação.* Braga, B.; Tundisi, J.G.; Tundisi, T.M.; Ciminelli, V.S.T. (orgs.), 4a ed., Escrituras Editora, 2015, pp. 425-455 (en portugués).

Confalonieri, U., Heller, l. & Azevedo, S. (2010). *Água e Saúde: aspectos globais e nacionais,* cap. 2 en: Bicudo, C.E.M., Tundisi, J.G. & Scheuenstuhl, M.C.B. (orgs.). Bicudo, C.E.M., Tundisi, J.G. & Scheuenstuhl, M.C.B. São Paulo: Instituto de Botânica. 224 pp.

Crémazy, A., Wood, C.M., Smith, D.S., Ferreira, M.S., Johannsson, O.R., Giacomin, M. & Val, A.L. (2016). Investigating copper toxicity in the tropical fish cardinal tetra (*Paracheirodon axelrodi*) in natural Amazonian waters: measurements, modeling, and reality. *Aquatic Toxicology* 180: 353-363.

Cunha-Santino, M.B. & Bianchini Jr, I. (2008). Humic substances cycling in a tropical oxbow lagoon (São Paulo, Brazil). *Organic Geochemistry* 39: 157-166.

Duarte, R.M., Menezes, A.C.L., Rodrigues, L., Almeida-Val, V.M.F. & Val, A.L. (2009). Copper sensitivity of wild ornamental fish of the Amazon. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72: 693-698.

Duarte, R.M., Smith, D.S., Val, A.L. & Wood, C.M. (2016). Dissolved organic carbon from the upper Rio Negro protects zebrafish (Danio rerio) against ion regulatory disturbances caused by low pH exposure. *Scientific Reports* 6: 20377.

Edzwald, J.K., Becker, W.C. & Wattier, K.L. (1985). Surrogate parameters for monitoring organic matter and THM precursors, Journal AWWA, *Research and Technology* 77(4): 122-132.

Environmental Protection Agency (EPA) (2002). *Filter backwash recycling rule: technical guidance manual.* EPA 816-R-0-014, Office of Groundwater and Drinking Water (4606 M), U.S, Environmental Protection Agency, p. 165, December, Washington, DC, USA.

Fair, G.M., Geyer, J.C. & Okun, D.A. (1968). *Water and wastewater engineering, 2: water purification and wastewater treatment and disposal.* New York: John Wiley & Sons, Inc.

Field, C.B., Barros, V.R., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., van Aalst, M., Adger, W.N., Arent, D.J., Barnett, J., Betts, R., Bilir, T.E., Birkmann, J., Carmin, J., Chadee, D.D., Challinor, A.J., Chatterjee, M., Cramer, W., Davidson, D.J., Estrada, Y.O., Gattuso, J.-P., Hijioka, Y., Hoegh-Guldberg, O., Huang, H.Q., Insarov, G.E., Jones, R.N., Kovats, R.S., Romero-Lankao, P., Larsen, J.N., Losada, I.J., Marengo, J.A., McLean, R.F., Mearns, L.O., Mechler, R., Morton, J.F., Niang, I., Oki, T., Olwoch, J.M., Opondo, M., Poloczanska, E.S., Pörtner, H.-O., Redsteer, M.H., Reisinger, A., Revi, A., Schmidt, D.N., Shaw, M.R., Solecki, W., Stone, D.A., Stone, J.M.R., Strzepek, K.M., Suarez, A.G., Tschakert, P., Valentini, R., Vicuña, S., Villamizar, A., Vincent, K.E., Warren R., White, L.L., Wilbanks, T.J., Wong, P.P. & Yohe, G.W. 2014. Technical summary. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. & White, L.L. (eds.). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. part a: global and sectoral aspects. contribution of working group ii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Cambridge: Cambridge University Press. pp. 35-94.

Furch, K. (1984). Water chemistry of the Amazon basin: the distribution of chemical elements among fresh waters. En: H. Sioli (Ed.), The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. *Junk Publishers,* Dordrecht, pp. 167-200.

Goiás (Estado) (2006). *Hidrogeologia do Estado de Goiás.* Série Geologia e Mineração, 1, por Leonardo de Almeida, Leonardo Resende, Antônio Passos Rodrigues, José Eloi Guimarães Campos. Goiânia: Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. 232 pp.

Gomes, A.F., Nobre, A.A. & Cruz, O.G. (2012). Temporal analysis of the relationship between dengue and meteorological variables in the city of Rio de Janeiro, Brazil, 2001-2009. *Cadernos de Saúde Pública* [Online] 28(11): 2189-2197.

Gonzalez, R.J., Wilson, R.W., Wood, C.M., Patrick, M.L. & Val, A.L. (2002). Diverse strategies for ion regulation in fish collected from the ion-poor, acidic Rio Negro. *Physiological and Biochemical Zoology* 75: 37-47.

Heller, L. (2015). The crisis in water supply: how different it can look through the lens of the human right to water? *Cadernos de Saúde Pública* 31(3): 447-449.

Hespanhol, I. (2008). Herman, R.H. & Braga Jr., B.P.F. 1997, The Upper Tietê Basin, Case Study 6, p. 387-396, in *Water Pollution Control: a guide to the use of water quality management principles,* Helmer, R. & Hespanhol, I. Eds., p. 510. UNEP, WHO, E & FB Spon, London.

Hespanhol, I. (2012). Poluentes emergentes, saúde pública e reúso potável direto, cap. 20, p. 501-537, in: *Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão,* Coords. Maria do Carmo Calijuri & Davi Gasparian Fernandes Cunha, Elsevier Campus. 789 pp.ISBN: 978-85-352-5.

Hespanhol, I. (2015). A inexorabilidade do reuso potável direto, *Revista DAE* 194: 6-23.

Hespanhol, I. & Prost, A.M.E. (1994). WHO Guidelines and national standards for reuse and water quality. *Water Research* 28(1): 119-124.

Hirata, R., Foster, S. & Oliveira, F. (2015). *Urban groundwater in Brazil: evaluation for sustainable management.* Instituto de Geociências e FAPESP, São Paulo. vol. 1. 112 p. 1st ed.

Instituto Trata Brasil-DATASUS (2014). http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-e-saude-3

Jørgensen, S.E., Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi T. (2013). *Handbook of Inland Waters Ecosystem Management.* CRC Press London 422pp.

Junk, W.J., Bayley, P.B. & Sparks, R.E. (1989). The flood pulse concept in River-Floodplain Systems. In: D.P. Dodge (Ed.), Proceedings of the International Large River Symposium. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* p. 110-127.

Kelman, J. (2015). A crise da água na Região Metropolitana de São Paulo. En: *Apresentação do Presidente da SABESP à Comissão de Infraestrutura, em debate sobre a Crise Hídrica no Estado de São Paulo.*

Kosten, S. & Huszar, V. (2011). Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology.* Discussion paper 1213. doi:10 1111/j.1365-2486.201102488.

Lampert, W. & Sommer, U. (2002). *Limnoecology*. Oxford: Oxford University Press, 335 pp. (2a ed.).

Machado *et al*. (2016). A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. *Science of the Total Environment* 572: 138-146.

Marengo, J.A. (2008). Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados* 22: 83-96.

Mierzwa, J.C. (2009). *Desafios para o tratamento de água de abastecimento e o potencial de aplicação do processo de ultrafiltração.* Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Título de Livre-Docente, pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, 127 pp. São Paulo, SP.

Miziara, F. (2006). Expansão de Fronteiras e Ocupação do Espaço no Cerrado: o caso de Goiás. En: Guimarães, L.D., Silva, M.A.D. & Anacleto, T.C. (Orgs). *Natureza Viva Cerrado.* Goiânia: Editora da UCG, pp. 169-196 (1ª ed.).

Miziara, F. & Ferreira, N.C. (2008). Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à Política Ambiental. En: Ferreia, L.G. (Org.). *A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado.* Goiânia: Canone/ CEGRAF-UFG, 1: 67-75.

Moxey, A. (2012). *Agriculture and water quality: monetary costs and benefits across OECD countries.* OECD study. 68 pp. www.oecd.org/agriculture/water

Mozetto, A.A., Silvério, P.F., De Paulo, F.C.F., Bevilacqua, J.E., Patella, E. & Jardim, W.F. (2003). Weakly-bound metals and total nutrient concentrations from some water reservoirs in S. Paulo State, Brazil. En: Munawar, M. (eds). *Sediment quality assessment and management: insight and progress.* Ecovision world monograph series. pp. 221-240.

Muller, A.P.B. (1999). *Detecção de oocistos de* Criptosporidium spp. *em águas de abastecimento superficiais e tratadas na RMSP.* Tese apresentada ao Instituto de Ciências Biomédicas, USP, para obtenção do título de Mestre em Ciências (Microbiologia). 109 p., São Paulo, SP.

Nasiri Nasiri, F., Savage, T., Wang, R., Barawid, N. & Zimmerman, J.B. (2013). A system dynamics approach for urban water reuse planning: a case study of the Great Lakes Region. *Stochasic Environmental Research and Risk Assessment,* 27(3): 675-691.

Nogueira, S.H.M., Ferreira, M.E., Fernandes, G.W., Callisto, C., Bezerra Neto, J.F., Macedo, M.N. & Latrubesse, E.M. Brazilian energy strategy damming rivers further threatens the Cerrado Hotspot. *Science of the Total Environment* (submitted).

Oki, T. & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resourses. *Science*, 313, 1068-1072.

Oliveira, A.M. & Val, A.L. (2017). Effects of climate scenarios on the growth and physiology of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*) (*Characiformes, Serrasalmidae*). *Hydrobiologia* 789: 167-178.

O'Sullivan, P.E. & Reynolds, C.S. (2004). *The lakes handbook. Limnology and limnetic ecology.* Vol. 1. Malden: Blackwell Science Ltd. 711 pp.

Paerl, W.H. & Dawl, U.P. (2012). Climate Changes: links to global expansion of harmful Cyanobacteria. *Water Research*, 46: 1349-1363.

Paerl, H.W. Huisman, J. (2008). Blooms like it hot. Science, 32: 57-58. http://dx.doi.org/10.1126/science.1155398. PMid:18388279

Paerl, H.W., Xu, H., McCarthy, M.J., Zhu, G., Qin, B., Li, Y. & Gardner, W.S. (2011). Controlling harmful cyanobacterial blooms in a hypereutrophic lake (Taihu, China): the need for a dual nutrient (N&P) management strategy. *Water Research*, 45: 1973-1983.

Periotto, N. & Tundisi, J.G. (2013). Ecosystem Services of UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa): a new approach for management and planning of dams multiple-uses. *Revista Brasileira de Biologia*, vol. 73, no. 3, p. 471-482. http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842013000300003. PMid:24212686

Rodrigues, D.M.T. & Miziara, F. (2008). Expansão da fronteira agrícola: a intensificação da pecuária bovina no estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 38(1): 14-20.

Santos, K.R.S. & Sant'Anna, C.L. (2010). Cianobactérias de diferentes tipos de lagoas ("salina", "salitrada" e "baía") representativas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 33(1): 61-83.

Schindler, D. (2006). Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography,* vol. 51, no. 1 part 2, pp. 356-363. http://dx.doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0356

Schindler, D.W., Hecky, R.E., Findlay, D.L., Stainton, M.P., Parker, B.R., Paterson, M.J., Beaty, K.G., Lyng, M. & Kasian, E.M. (2008). Eutrophication of Lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: results of a 37-year whole ecosystem experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 105: 11254-11258.

Sinclair, R.G., Rose, J.B., Hashaham, S.A., Gerba, C. & Haas, C.N. (2012). Criteria for selecting of surrogates used to study the fate and control of pathogens in the Environment. *Appl. Environ Microbiol.* 78(6): 1969-1977.

Sioli, H. (1950). Das wasser im Amazonasgebiet. *Forschung Fortschritt* 26: 274-280.

Sistema Nacional de Informações sobre Saúde (SNIS) 2016. http://app3.cidades.gov.br/snisweb/src/Sistema/index

Snow *et al*. 2009. Detection, Occurrence, and Fate of Emerging Contaminants in Agricultural Environments. *Water Environment Research* 81(10). Water Environment Federation.

Sodré *et al*. (2010). Occurrence of emerging contaminants in Brazilian drinking waters: a sewage-to-tap issue. *Water Air Soil Pollution* 206: 57-67.

Tundisi, J.G. (2003). *Água no século XXI: enfrentando a escassez.* São Carlos, Brasil: RiMa, Instituto Internacional de Ecologia.

Tundisi, J.G. (Coord.) (2014). *Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o Futuro.* Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 76 pp.

Tundisi, J.G. Reservoirs (2018). New challenges for ecosystem studies and environmental management. *Water Security* (Elsevier) in press.

Tundisi, J.G. *et al*. (2015). Water availability, water quality and water governance: the future ahead. *Hydrological Sciences and Water Security. Past, Present, Future.* IAHS Publ. vol. 366 pp.75-79.

Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. (2010). Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica* 10(4): 67-76.

Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. (2018). Integrated management plan for the Itaqueri-Lobo watershed and UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) reservoir. Pp 125-128. In: Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. (eds). *Water Resources management.* Academia Brasileira de Ciencias; Unesco; IANAS; Fapesp: 248 pp.

Tundisi, J.E. & Matsumura-Tundisi, T. (2013). The ecology of UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa reservoir) and its watershed, São Paulo, Brazil. *Freshwater Biology* 6: 75-91.

Tundisi, J.G., Matsumura-Tundisi, T., Ciminelli, V.S. & Barbosa, F.A.R. (2015). Water availability, water quality and water governance: the future ahead. In: Cudeneca *et al*. (eds). *Hydrological Sciences and Water Security: past, present, future.* PIALTS, 366: 75-79.

Tundisi, J.G., Rebouças, A.C. & Braga, B. (2002). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.* São Paulo: Escrituras Editora. (2ª ed.).

Val, A.L. & Almeida-Val, V.M.F. (1995). *Fishes of the Amazon and their environments. Physiological and biochemical features.* Heidelberg: Springer Verlag.

Val, A.L., Gomes, K.R.M. & Almeida-Val, V.M.F. (2015). Rapid regulation of blood parameters under acute hypoxia in the Amazonian fish Prochilodus nigricans. *Comparative Biochemistry and Physiology,* pp. 125-131.

Valente, C.R., Latrubesse, E.M. & Ferreira, L.G. (2013). Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 46: 150e-160.

Viegas, M. & Hespanhol, I. (2002). Auditorias de certificação de sistemas de gestão ambiental: um estudo de caso. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP,* BT/PHD/98, ISSN 1413-2192, CDU 502.35-657.6, 15 pp., São Paulo.

WHO & UNICEF (2017). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines.* Geneva: WHO and UNICEF. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Wood, C.M., Robertson, L.M., Johansson, O.E. & Val, A.L. (2014). Potential linkage in native Rio Negro tetras (Paracheirodon axelrodi, Hemigrammus rhodostomus, and Moenkhausia diktyota). *Journal of Comparative Physiology,* ser. B, 184: 877-890.

World Health Organization-WHO (1990). *Basic Documents.* Geneva: WHO. 416 pp. 38th Ed.

World Health Organization-WHO (2011). *Guidelines for Drinking Water Quality.* Geneva: WHO. 541 pp. 4th ed.

Canadá

A pesar de la baja densidad de población de **Canadá** y su inmensa masa terrestre, experimenta considerables problemas con relación a la contaminación del agua en algunas áreas. Si bien el agua dulce del país es relativamente abundante, gran parte de ésta se encuentra en los lagos o ríos del norte que ahí mismo desembocan, mientras que más de 90% de la población humana vive en una estrecha franja de la frontera sur con Estados Unidos de América, donde el agua es relativamente escasa. Los pocos ríos y lagos de menor tamaño del sur de Canadá se utilizan como fuentes de agua potable así como para la eliminación de residuos, y esto aumenta los problemas de calidad del agua. La creciente escasez de agua como resultado del cambio climático y un mayor uso del agua por el hombre auguran mayores problemas para el futuro.

Ciudad de Toronto desde el lago Ontario, Canadá © iStock

Desafíos pasados, presentes y futuros para la gestión de la calidad del agua dulce en Canadá

D. W. Schindler

Resumen

A pesar de la baja densidad de población de Canadá y su inmensa masa terrestre, experimenta considerables problemas con relación a la contaminación del agua en algunas áreas. Si bien el agua dulce del país es relativamente abundante, gran parte de ésta se encuentra en los lagos o ríos del norte que ahí mismo desembocan, mientras que más de 90% de la población humana vive en una estrecha franja de la frontera sur con Estados Unidos de América (EUA), donde el agua es relativamente escasa. Los pocos ríos y lagos de menor tamaño del sur de Canadá se utilizan como fuentes de agua potable así como para la eliminación de residuos, y esto aumenta los problemas de calidad del agua. La creciente escasez de agua como resultado del cambio climático y un mayor uso del agua por el hombre auguran mayores problemas para el futuro. Una amplia gama de grandes industrias contaminantes ocasiona problemas en la calidad del agua incluso en las zonas septentrionales con baja densidad poblacional, por lo general, a través del transporte atmosférico de contaminantes de largo alcance que se biomagnifican a niveles tóxicos en organismos acuáticos que se utilizan como alimento humano. Un deficiente y desorganizado marco regulatorio canadiense ha dado lugar a un historial de políticas de agua deficientes, en las que la protección de la calidad del agua ha quedado subsumida en la protección del desarrollo industrial. Se prevé que las sequías, inundaciones e incendios causados por el calentamiento global y el aumento de las poblaciones empeoren los problemas de calidad del agua a futuro, incluso en las regiones apartadas. Los cada vez más complejos efluentes, el crecimiento poblacional e industrial y el cambio climático, hacen imprescindible el diseño de políticas nacionales eficientes y coherentes, y una mayor asignación de fondos para llevar a cabo investigaciones relacionadas con el agua.

Introducción

Cantidad de agua - un factor en la calidad del agua

Por increíble que parezca, muchos de los problemas relacionados con la calidad del agua en Canadá se deben a la escasez de agua, y esto implica que los mismos cuerpos de agua se

D. W. Schindler d.schindler@ualberta.ca Profesor de Ecología emérito del Killam Memorial de la Universidad de Alberta. Su innovador trabajo sobre el impacto de los contaminantes en ecosistemas enteros le ha valido el reconocimiento como uno de los académicos más distinguidos de Canadá. Fue elegido miembro de las Sociedades Reales de Canadá y Gran Bretaña, y de la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina de EUA. Ha sido galardonado con prácticamente todos los premios internacionales más importantes sobre el medio ambiente, entre ellos el Premio del Agua de Estocolmo, el Premio Volvo sobre Medio Ambiente y el Premio Tyler por Logros Ambientales, así como numerosos reconocimientos nacionales y regionales. Muchos de sus trabajos más recientes han desempeñado un papel decisivo en la formulación de políticas canadienses sobre el agua.

utilicen tanto para la extracción de agua como para la eliminación de residuos. A medida que aumenta la población y la demanda de agua per cápita, el clima debilita lentamente los recursos de agua disponible en algunas áreas y provoca un mayor uso del agua restante. Existen razones históricas para esto.

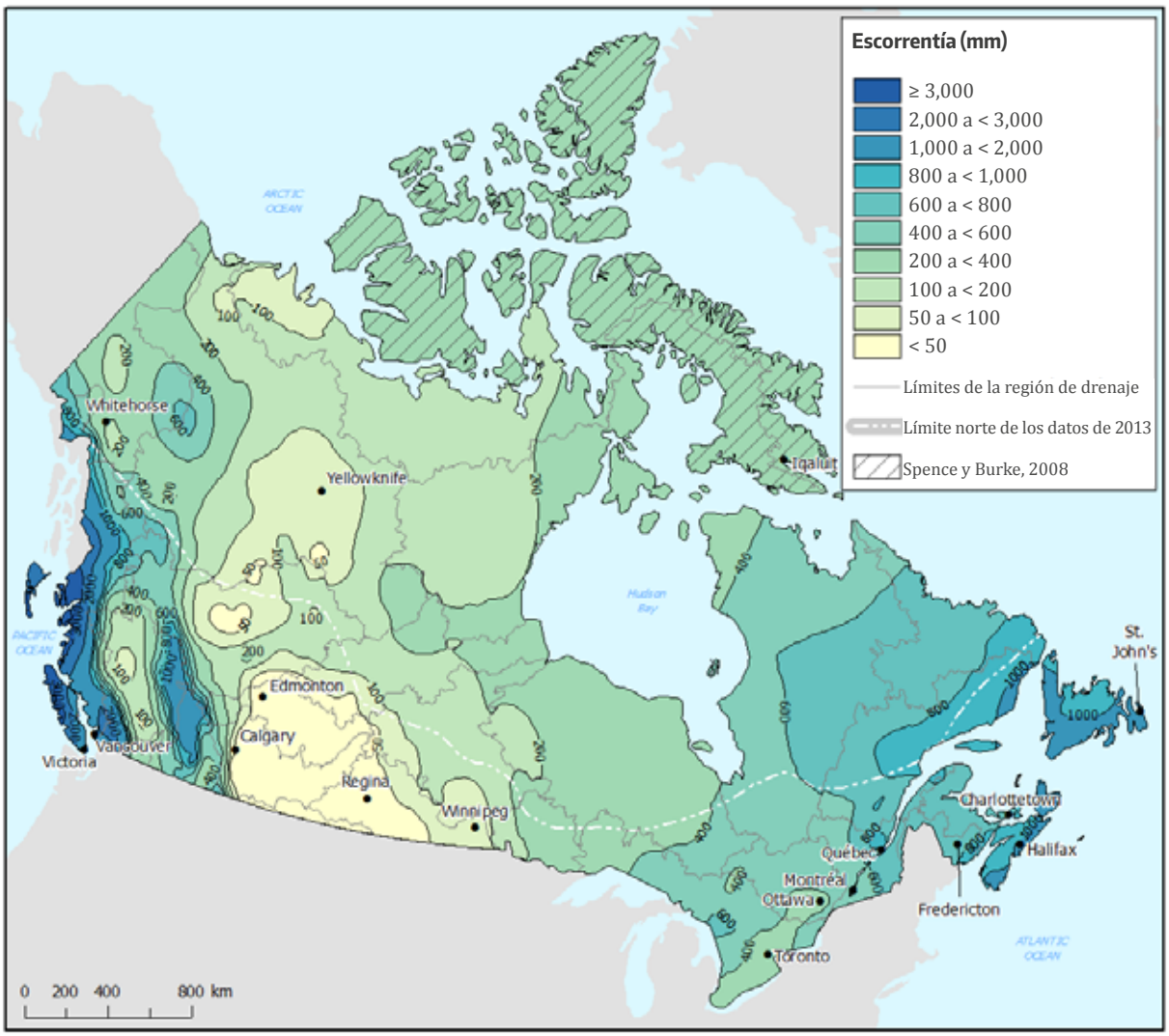
Antes de la segunda mitad del siglo XX, se prestaba poca atención a los problemas de cantidad o calidad del agua en Canadá. Es posible que la aparente abundancia de agua dulce y su población humana relativamente baja en un país tan grande, se tradujera en un sentimiento de tranquilidad, lo que dio lugar a que la calidad del agua se considerara un asunto secundario de política y esto a su vez llevó a dar prioridad a las ciudades e industrias en desarrollo e ignoró la demanda de agua y su contaminación. Este "Mito de la Abundancia" ocasionó que se pusiera un velo sobre muchos problemas regionales importantes. Por ejemplo, las regiones meridionales de Saskatchewan y Alberta, conocidas como "Triángulo de Palliser", son realmente semi-desérticas, y la evapotranspiración promedio excede la precipitación promedio, por lo que no hay escorrentía neta. La región se colonizó a principios del siglo XX como resultado de una comercialización demasiado optimista por parte de la empresa Canadian Pacific Railroad, durante varias décadas, de una precipitación mayor a la normal. La compañía ferrocarrilera deseaba impulsar la agricultura para contar con clientes que la hicieran rentable. "Después de un rápido asentamiento a principios del siglo XX, a fines de la década de 1920 se observó un constante éxodo que dejó atrás numerosos pueblos fantasmas abandonados" (Jones, 1987). Una zona similar donde la evapotranspiración es igual o superior a la precipitación promedio es el Valle de Okanagan, en la Columbia Británica, donde el rápido crecimiento demográfico y un creciente número de industrias vitivinícolas y huertos compiten por la poca agua que queda.

En la cuenca de los Grandes Lagos en las Laurentides, aunque el agua es abundante, sólo aproximadamente 1% de las aguas se renueva anualmente. Si la extracción de agua llega a sobrepasar este valor, los niveles del lago disminuirán. En consecuencia, la elevada densidad poblacional y la demanda industrial requieren medidas de conservación, como se hará evidente más adelante en este trabajo. Los canadienses parecen olvidar que 85% de la población humana y la industria se encuentran asentadas en una franja de 100 km a lo largo de la frontera con EUA, y que la mayoría de los grandes ríos grandes fluyen hacia el norte y sólo sus cabeceras se encuentran en latitudes muy pobladas (**Figura 1**). Fuera de los Grandes Lagos Laurentianos, la investigación y el monitoreo del agua dulce en Canadá ha sido esporádico. Por último, la gran proporción de superficie canadiense cubierta con agua es engañosa, ya que las bajas temperaturas y la evaporación disimulan el hecho de que la precipitación es de baja a moderada. La medida real de agua que puede utilizarse de manera sostenible es la escorrentía anual por unidad de área. En este aspecto, la clasificación de Canadá no es particularmente buena. La escorrentía de la densidad del área canadiense es similar a la de EUA y China, dos países con graves problemas en relación con la calidad del agua. La escorrentía por unidad de área de Canadá es sólo la mitad de la de los países verdaderamente ricos en agua como Finlandia, Brasil y Rusia (Sprague, 2007).

Se tomaron excelentes medidas preventivas para proteger las aguas dulces. El Tratado de Aguas Fronterizas de 1909 y la posterior Comisión Conjunta Internacional (IJC, por sus siglas en inglés) fueron creados por los gobiernos de Canadá y EUA con la finalidad de resolver los conflictos en torno al agua en los Grandes Lagos Laurentianos y otros lagos y ríos transfronterizos. Como se mencionó con anterioridad, la cuenca de los Grandes Lagos alberga a 33 millones de personas en EUA y Canadá, y punto de expansión industrial. Por consiguiente, la mayor parte del siglo pasado fue el centro de los problemas en torno al agua en Canadá.

En los primeros años del siglo XX, los conflictos que resolvió la IJC estaban relacionados principalmente con el uso del agua y la modificación de los flujos más que con la calidad del agua. Esto cambió en 1969 cuando la IJC reveló los resultados de un estudio realizado a lo largo de varios años sobre la contaminación en los Grandes Lagos y que se convirtió en pieza clave de la investigación sobre el agua dulce en Canadá. El estudio (IJC, 1969) advertía que tanto EUA como Canadá debían hacer todo lo posible para que se identificaran y resolvieran los problemas de contaminación de los Grandes Lagos.

Figura 1. Escorrentía media anual en Canadá, 1971 a 2013



Nota(s): Los datos de la escorrentía se obtuvieron a partir de los valores de descarga de las estaciones hidrométricas con los flujos naturales del periodo 1971 a 2013 al sur de la frontera delineada en el mapa y de 1971 a 2004 al norte de la frontera, con la excepción del Archipiélago Ártico, donde los estimados se tomaron de Spence y Burke, 2008.
Fuente(s): Estadísticas Canadá, División de Estadísticas de Ambiente, Energía y Transporte, 2017, con base en datos de Ambiente y Cambio Climático Canadá, 2015, Estudio del Agua de Canadá, Datos Hidrométricos Archivados (*Water Survey of Canada, Archived Hydrometric Data, HYDAT*), URL (consultado el 3 de diciembre, 2015); Spence, C. y A. Burke, 2008, "Estimates of Canadian Arctic Archipelago Runoff from observed hydrometric data" (Estimaciones de la escorrentía del archipiélago ártico canadiense a partir de datos hidrométricos observados), *Journal of Hydrology*, vol. 362, pp. 247-259

En ese momento, lo que requería atención inmediata era la rápida proliferación de algas por floración en los lagos Erie y Ontario, motivo de preocupación pública en ambos lados de la frontera.

La respuesta de Canadá a las recomendaciones de la IJC de 1969 fue formar dos nuevos institutos que se dedicaran a realizar investigaciones sobre el agua dulce. Uno de ellos, el Centro Canadiense de Aguas Continentales (CCIW), se enfocaría principalmente en los Grandes Lagos. Abrió sus puertas en 1967 como parte del Departamento Federal de Energía, Minas y Recursos. Más tarde, formó parte de Environment Canada, una nueva dependencia del Gobierno federal que se creó en 1971.

Al segundo, el Instituto de Agua Dulce (Freshwater Institute-FWI), se le encomendó la investigación sobre el agua dulce. Su gestión inicial estuvo a cargo del venerable Consejo de Investigación Pes-

quera de Canadá (FRBC), pero contaba con una subsidiaria en el Centro Canadiense de Aguas Continentales para proveer de conocimiento biológico a los Departamentos de Física y Química del CCIW. El Consejo de Investigación Pesquera de Canadá ubicó a sus institutos en campus universitarios. El Instituto de Agua Dulce se ubicó en el campus de la Universidad de Manitoba, aceptando el ofrecimiento de la universidad de rentar parte de sus instalaciones al Consejo de Investigación Pesquera mientras éste pudiera construir el suyo propio. El Instituto de Agua Dulce abrió sus puertas en septiembre de 1966, siendo su primer director Waldo E. Johnson, un importante investigador de la industria pesquera. Aproximadamente un tercio del personal del Instituto de Agua Dulce se dedicó inicialmente al estudio de la eutrofización, un proyecto totalmente nuevo para el Consejo de Investigación Pesquera. Por fortuna, el Consejo no estaba obligado a cumplir las normas establecidas por la administración pública y fue capaz de reunir un talentoso equipo de profesionales en muy poco tiempo, en gran parte mediante contrataciones de personal extranjero. Johnson contrató a J.R. Vallentyne, quien por aquel entonces se desempeñaba como catedrático en la Universidad de Cornell, y a Richard Vollenweider, un científico suizo con mucha experiencia, para dirigir el Departamento de Eutrofización y la subsidiaria en el Centro Canadiense de Aguas Continentales, respectivamente. Un aspecto importante del plan del Instituto de Agua Dulce fue su decisión de formar una estación de investigación donde se pudieran probar las políticas experimentales de control de nutrientes en entornos de ecosistemas completos.

El Consejo de Investigación Pesquera de Canadá (FRBC) se fundó bajo el nombre de Junta Biológica de Canadá en 1912, y cambió a FRBC en 1937. El FRBC estuvo a cargo de un grupo de destacados científicos acuáticos independientes del Gobierno. El Consejo de Investigación Pesquera de Canadá fue reconocido mundialmente por su excelente conocimiento científico capaz de respaldar políticas fiables sobre el agua, tanto con respecto a la pesca como en general (Hayes, 1973). Con el informe de la IJC de 1969, a los responsables de las políticas les preocupaba que los muchos problemas que se habían encontrado excedieran la experiencia y la encomienda del FRBC. A los políticos les preocupaba la naturaleza atípica de la organización, ya que no dependía de ningún organismo del Gobierno. Esto cambió en 1973, cuando se transfirió al personal del FRBC a Environment Canada y el Consejo de Investigación Pesquera quedó reducido a desarrollar actividades de asesoría. En 1979, el Departamento de Pesca y Océanos se separó de Environment Canada, dejando a agencias diferentes a cargo de aguas y peces, una extraña dicotomía que todavía subsiste hoy. El Consejo de Investigación Pesquera se disolvió, dejando la investigación federal sobre el agua sujeta a caprichos políticos.

A la Provincia de Ontario también le preocupaba el tema del agua dulce. Su nuevo Ministerio del Medio Ambiente se formó en 1972 con el tema del agua como su mandato principal, y poco después se agregó una estación de investigación en Dorset, Ontario. Algunas de las investigaciones más provechosas de Canadá sobre la eutrofización y la lluvia ácida se llevaron a cabo en la Estación de Investigación de Dorset, que hoy se conoce como el Consorcio de Investigación Ambiental de Dorset, que surgió a partir de la asociación de una organización no gubernamental con el gobierno y la universidad, y que todavía se dedica a la investigación sobre el agua dulce.

Durante esa misma década de 1960, Ontario fundó varias universidades, entre ellas Laurentian (1960), Lakehead (1965) y Trent (1966), que también habrían de dar un mayor impulso a los programas medioambientales y acuáticos. Las universidades más antiguas de Canadá también comenzaron a fortalecer sus programas de agua por aquel tiempo.

A partir de la rápida expansión de los métodos y equipos químicos a mediados del siglo XX, los talentosos profesionales que formaban parte de estos grupos lograron rápidos avances en la identificación y solución de los problemas relacionados con la contaminación del agua en Canadá. En definitiva, la década de 1960 fue la época de concientización canadiense en torno a los problemas del agua dulce.

La pesadilla reguladora de Canadá

Uno de los problemas a largo de plazo de la política canadiense sobre el agua es que la Constitución no reconoce explícitamente al agua, ni a los organismos responsables de su gestión. Formada en 1967 como parte del proceso judicial del Acta de la Norteamérica británica, la Constitución canadiense es mucho

más débil, en muchos aspectos, que la mayoría de las constituciones nacionales. En ella se observa el hecho de que las distintas provincias canadienses que habían controlado de forma independiente sus propios recursos hasta ese momento, habían exigido enérgicamente conservar la mayoría de sus derechos anteriores. Después de las consultas constitucionales, las provincias retuvieron el control de los recursos naturales, entre ellos el agua, pero no los parques nacionales, las reservas indígenas, las bases militares y los territorios del norte, ya que éstos continuaron siendo responsabilidad federal. El Gobierno federal conservó la regulación de la pesca y las aguas transfronterizas, aunque en muchos casos, la gestión se transfirió posteriormente a las provincias, de conformidad con convenios federales-provinciales. Algunos municipios también formularon su propia reglamentación. Esto dio origen a una mezcla incoherente y discrepante de estándares, normas y objetivos, en la que algunas jurisdicciones son menos protectoras que otras. El medio ambiente es general y todos los niveles de gobierno consideran que la importancia del agua es secundaria en el desarrollo económico.

En 1970, en respuesta a las continuas controversias sobre la competencia provincial frente a la jurisdicción federal sobre el agua, y la cada vez mayor preocupación de los ciudadanos, el Parlamento aprobó la Ley de Agua de Canadá, que establece la forma en la que las jurisdicciones federales y provinciales han de compartir la responsabilidad del agua. La Ley ha tenido cierto éxito (Booth y Quinn, 1995) y continúa vigente con sólo algunos cambios menores respecto de su versión original. Continúa sujeta a los caprichos personales y la relativa agresividad de los políticos federales y provinciales y, en general, todavía no cuenta con la suficiente autoridad para proteger el agua dulce de forma eficaz.

La calidad del agua en Canadá generalmente está protegida por lineamientos y objetivos, más que por regulaciones. Aquellos no son legalmente aplicables y, muchas veces, son mucho más permisivos de lo que los estudios de toxicología o salud humana recomiendan. "Es evidente que las políticas relacionadas con el agua con frecuencia fueron secundarias a otras actividades como la pesca, el transporte y la agricultura, en vez de un área de estudio por derecho propio, hasta después de la Segunda Guerra Mundial" (Quinn, 2013).

Quinn (1985) ofrece una descripción más detallada de las primeras políticas sobre el agua y Boyd (2003) analiza en detalle muchas de las fallas de las leyes ambientales canadienses que ocurrieron debido a las discrepancias jurisdiccionales. Se intentó lograr una mayor uniformidad en cuanto al tratamiento de los problemas del agua en todo el país con la investigación federal sobre el agua de 1984 (Pearse *et al*., 1986), que presentó 55 recomendaciones que se convirtieron en la base para un proyecto de legislación federal. El conjunto de leyes se presentó en 1987, pero se sujetó a una elección y nunca fue aprobado. Fue subsumido por puntos de convergencia institucionales más inclusivos, pero mal definidos como el "Plan Verde", el "Enfoque Ecosistémico" y el concepto de "Desarrollo Sostenible", que eran –y continúan siendo– tan ambiguos y mal definidos que justifican casi cualquier tratamiento del agua. Desde entonces, los recortes a la investigación federal sobre agua dulce y el nuevo enfoque sobre el aprovechamiento de los recursos han restado importancia al agua dulce en comparación con otros recursos, a pesar de las repetidas advertencias en el sentido de que esto es una tontería (Pearse y Quinn, 1996; Bakker y Cook, 2011).

Otro problema ha sido que la mayoría de las provincias no cuentan con instituciones de investigación del agua de alto nivel ni funcionarios capaces de interpretar la ciencia acuática de vanguardia. En una era de rápido crecimiento industrial, y de comprensión científica, el resultado ha sido un conjunto de decisiones inconstantes, poco sólidas e impredecibles que afectan a las aguas dulces.

A pesar de todos estos problemas, Canadá ha mantenido su reputación como uno de los países con mejor calidad del agua. La OCDE clasifica a Canadá en el cuarto lugar entre 17 países en calidad de agua, con Suecia, Noruega y Austria por arriba, y con todos logrando una calificación de "A" –EUA clasificó muy por debajo en la lista de la OCDE, con sólo una "C"– (www.conferenceboard.ca/hcp/Details/Environment/water-quality-index.aspx).

Con el crecimiento de la población y la industria, además de las amenazas regionales o globales del cambio climático, la lluvia ácida y el transporte atmosférico de toxinas de largo alcance, es urgente que Canadá mejore sus políticas ambientales y sus fundamentos científicos. Éste ha sido el tema de varios libros académicos (los más recientes, Bakker,

2007; Brooymans, 2011), pero los políticos y el público continúan haciendo caso omiso del problema.

En el resto de este artículo, expongo brevemente algunos de los principales problemas relacionados con la calidad del agua en Canadá, los avances que se han logrado para resolverlos desde mediados del siglo XX y los problemas que se vislumbran en el futuro inmediato.

Eutrofización

A mediados del siglo XX había una creciente preocupación por el aumento en la proliferación de las algas que estaban apareciendo en las aguas frescas y costeras de muchos países. Esto fue el punto en torno al cual giró gran parte del estudio sobre los Grandes Lagos de San Lorenzo, que ya se mencionó con anterioridad y que fue realizado por la IJC (1969), en el que la extensa floración de algas continuaba aumentando en los lagos Erie y Ontario, así como en las zonas costeras de los otros Grandes Lagos. La eutrofización se convirtió en el tema central de gran parte del trabajo inicial de los dos nuevos laboratorios canadienses, el Centro Canadiense de Aguas Continentales (CCIW) y el Instituto de Agua Dulce (FWI), así como de la estación de investigación de Dorset.

El tema de la eutrofización ya se había abordado en un simposio patrocinado por la Academia Nacional de Ciencias de EUA (NAS, 1969) en 1967, pero no se logró llegar a un acuerdo en cuanto a cómo controlar el problema. La reunión contó con la presencia de Richard Vollenweider, un destacado limnólogo suizo, quien fue contratado por el Instituto de Agua Dulce para dirigir su subsidiaria de los Grandes Lagos en Burlington, Ontario. Vollenweider acababa de concluir una revisión a fondo de este problema para la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en el que llegó a la conclusión de que el aporte excesivo de fósforo y nitrógeno en los lagos constituía la causa principal del problema de eutrofización. Su libro inédito (Vollenweider, 1968) sirvió de base para los esfuerzos encaminados a controlar la eutrofización en Europa y América del Norte. Por este trabajo, Vollenweider más tarde recibió el Premio Tyler por Logros Ambientales.

Se exploraron las bases de los nutrientes de los modelos de Vollenweider en experimentos realizados en lagos del noroeste de Ontario, en el Área de Investigación de Lagos (ELA), otra área del programa de investigación de la eutrofización del Instituto de Agua Dulce. En un primer experimento que inició en 1969, se fertilizó el Lago 227 con fósforo y nitrógeno, pero no carbono, para probar la teoría planteada por la industria de jabones y detergentes en la década de 1960 y principios de la de 1970, que sugería que era necesario controlar también el aporte de carbono para poner fin a la eutrofización de forma eficaz (Canadian Research and Development, 1970). Esta conclusión se había basado en los resultados de experimentos de laboratorio a corto plazo. En el momento de la fertilización, el Lago 227 mostraba la concentración más baja de carbono inorgánico disuelto jamás medida en agua dulce. El lago rápidamente produjo una gran floración de algas una vez que se fertilizó con fósforo y nitrógeno. Se encontró que la atmósfera sustituía la falta de carbono de las algas, lo que rápidamente llevó a desechar la teoría del carbono. El experimento también puso de manifiesto que los experimentos poco confiables a pequeña escala no debían tomarse como base para recomendar políticas de gestión adecuadas para ecosistemas completos (Schindler *et al*., 1972).

Basándose en el estudio de Vollenweider, la IJC había sugerido que si se controlaba un solo elemento –el fósforo– se podría controlar o revertir el problema de la eutrofización. Esta idea se pudo constatar en el Acuerdo de Calidad del Agua de 1972 entre los dos países. Otros creían que el nitrógeno también debía controlarse, pero esto implicaba un mayor costo. En un experimento que se llevó a cabo para probar estas dos teorías, el Área de Investigación de Lagos decidió dividir el Lago 226 a la mitad con una cortina de nylon. Se agregó nitrógeno y carbono a ambas mitades, pero el fósforo se agregó sólo a una de las mitades. Solamente el lado donde se agregó fósforo produjo una floración de algas (Schindler, 1974). La impresionante diferencia entre las dos cuencas dio lugar a una menor adición de fósforo en Canadá, EUA y muchos países europeos. En los Grandes Lagos, las modificaciones que se realizaron al convenio sobre calidad del agua auspiciado por la IJC en 1983 exigían un control aún más estricto del fósforo (www.ijc.org/en/activitiesX/consultations/glwqa/guide_3.php).

Cabe destacar que estos primeros acuerdos no tomaron en cuenta la creciente evidencia de que las fuentes no localizadas, como la escorrentía agrícola, contribuían de forma considerable al aporte de fósforo en los lagos, a pesar de que ya eran factores importantes en los lagos Erie y Ontario. El Grupo de Referencia sobre la Contaminación por Actividades Asociadas al Aprovechamiento de la Tierra (PLUARG) analizó este problema durante varios años en la década de 1970. Su informe final de 157 páginas establece lo que a continuación se cita: El problema se describió en detalle en http://agrienvarchive.ca/download/PLUARG_pollution_great_lakes_land_use.pdf, donde se señalaba que los objetivos de calidad del agua para los lagos Erie y Ontario no podrían lograrse sin una importante reducción de las fuentes no localizadas. No obstante, como consecuencia de las primeras políticas que se diseñaron para controlar las fuentes localizadas, la eutrofización dejó de ser tema importante en la política, y Canadá y EUA recortaron los fondos destinados a investigación y monitoreo. Por consiguiente, aunque todos los Grandes Lagos han logrado cumplir los objetivos relacionados con la calidad del agua referentes al fósforo que se establecieron en la década de 1970 (Dove y Chapra, 2015), la proliferación de algas continúa afectando a las áreas de los lagos Erie y Ontario debido a la mayor aportación de fósforo derivada del uso de la tierra (Michalak *et al*., 2013).

Schindler (1977) sintetizó los resultados de los experimentos con nutrientes en los lagos del Área de Investigación de Lagos, y señaló que la proliferación de algas, con el tiempo, fue proporcional a las concentraciones de fósforo en todos los lagos, independientemente de la cantidad de nitrógeno o carbono que se había agregado. Plantearon la hipótesis de que el propio sistema del lago era responsable de obtener los aportes de carbono y nitrógeno de la atmósfera y que el suministro de estos dos elementos mantenía la proliferación de algas proporcional a la carga de fósforo. Su hipótesis nunca se cuestionó hasta bien entrado el nuevo milenio, cuando volvió a surgir la controversia en cuanto a si los aportes de nitrógeno a los lagos debían controlarse (Lewis y Wurtsbaugh, 2008). Se continúan usando las adiciones de nutrientes en experimentos de mesocosmos en frascos a corto plazo para demostrar que es necesario disminuir el aporte de nitrógeno en los lagos, si se ha de controlar la eutrofización. No obstante, estos experimentos no toman en cuenta las respuestas a largo plazo (años) de los ciclos biogeoquímicos que corrigen las deficiencias de nitrógeno en los lagos (Schindler, 2012; Schindler *et al*., 2008; Higgins *et al*., 2017). Como Vitousek *et al*. (2010) señalaron, gran parte de la evidencia que se utilizó para recomendar el control del nitrógeno se basa en experimentos que mostraban sólo una limitación de nutrientes a corto plazo, mientras que la disminución de la eutrofización requiere reducciones definitivas (a largo plazo) en la limitación de nutrientes, que en el caso de lagos, es el fósforo.

En una prueba experimental realizada en 1989, dejó de agregarse el fertilizante de nitrógeno al Lago 227, pero la adición de fósforo continuó; el lago ha permanecido eutrófico durante los siguientes 29 años. A pesar de las predicciones negativas de detractores (Scott y McCarthy, 2010), la fijación de nitrógeno ha aportado suficiente nitrógeno para producir floraciones de algas en proporción al fósforo, aunque todos los años se observa una limitación de nitrógeno que dura la mitad del verano (Paterson *et al*., 2011; Higgins *et al*., 2017). Como prueba adicional de la eficacia del control del fósforo, muchos lagos en América del Norte y Europa ya se han recuperado de la eutrofización tan sólo reduciendo los aportes de fósforo, aunque en algunos casos, el retorno del fósforo de los sedimentos ha retrasado la recuperación varios años (Schindler *et al*., 2016).

Últimamente, la eutrofización se ha convertido en un problema en la zona occidental de Canadá, en gran parte como resultado de fuentes no localizadas, como los corrales de engorda de animales (Chambers *et al*., 2001). Los aportes de fósforo y la proliferación de algas en el lago Winnipeg se duplicaron con creces en la década de 1990, como resultado del uso intensivo de fertilizantes y la expansión de la industria porcina en la cuenca del río Red, tanto en Canadá como en EUA. Las cinco inundaciones que azotaron al río Rojo durante 15 años, por lo que se le conoció como área identificada con probabilidad de inundación anual de 1%, sólo empeoraron el transporte de nutrientes de tierra a agua (Schindler *et al*., 2012). La eutrofización también se ha generalizado en las praderas occidentales, como consecuencia de desarrollos a orillas del lago en áreas donde muchos lagos son eutróficos con condiciones prístinas, de manera que la más mínima influencia

humana puede dar lugar a hipereutrofización y proliferación de algas. Los lagos son poco profundos y geológicamente susceptibles al reciclaje del fósforo de los sedimentos (Orihel *et al*., 2017).

Lluvia ácida

Aunque algunas de las primeras investigaciones sobre los efectos de la lluvia ácida se realizaron en Canadá (Gorham y Gordon, 1960), no se reconocieron como un problema generalizado hasta mucho después de que lo señalaran Escandinavia y EUA a finales de la década de 1960. El estudio completo sobre la lluvia ácida que se realizó en Canadá no se inició sino hasta mediados de la década de 1970, cuando se hizo evidente que las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno del sur de Canadá y el noreste de los EUA estaban ocasionando precipitaciones con un pH por debajo de cinco en algunas zonas del Escudo Canadiense sensibles al ácido, donde se localizan miles de lagos y suelos pobres en cationes básicos que neutralizan la lluvia ácida en las zonas menos sensibles (Schindler *et al*., 1981).

La investigación inicial se centró en la toxicidad del ion de hidrógeno para los peces deportivos utilizando bioensayos a corto plazo. Se determinó que el daño no comenzó a ocurrir sino hasta que los lagos se acidificaron a pH <5. De cualquier modo, las adiciones de ácido controladas a lagos experimentales pequeños estudiados ampliamente demostraron que el daño a organismos menores importantes en la red alimenticia, así como a algunos procesos biogeoquímicos clave, ocurrió a valores de pH tan altos como 6, diez veces menos acídicos que lo que las pruebas de toxicidad de laboratorio habían indicado (Schindler *et al*., 1985; Rudd *et al*., 1988). Una vez que se reconoció este daño, Canadá de inmediato tomó cartas en el asunto para reducir las emisiones de óxido de azufre. Las fuentes, aunque extensas, no eran muchas, y se logró que casi todas las empresas redujeran sus emisiones de forma voluntaria. La recuperación de los lagos canadienses no comenzó a ocurrir sino hasta que también se logró que EUA redujera sus emisiones de óxido de azufre, a partir de 1990. La recuperación de los lagos ha sido desigual debido a varios factores, entre ellos, la disminución de las concentraciones de cationes básicos, la movilización de SO4 inducida por la sequía en humedales, los mecanismos de generación de alcalinidad interna dañada y el aumento en los niveles de nitrato o aniones orgánicos (revisado por Jeffries *et al*., 2003). Poca atención se ha prestado a la recuperación de los lagos los últimos veinte años.

Primero se pensó que los óxidos de nitrógeno no tendrían que controlarse porque los nitratos formados en la atmósfera antes de la deposición se neutralizarían con la absorción de la planta una vez que alcanzaran la biósfera. Empero, la experiencia en Europa demostró que con el aumento de la deposición de nitratos, los bosques se saturaban rápidamente y daban origen a la escorrentía del ácido nítrico y la eliminación de cationes básicos de los suelos (Dise *et al*., 2011). Canadá todavía presta poca atención a los óxidos de nitrógeno, ubicándose en el puesto 16 de los 17 países en emisiones per cápita (https://www.conferenceboard.ca/hcp/Details/Environment/urban-nitrogen-dioxide-concentration.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1).

Las adiciones controladas de ácido nítrico a pequeños lagos experimentales también indicaron que la captación biológica y la neutralización del nitrógeno fueron bajas en ausencia de fósforo, y provocaron acidificación (Rudd *et al*., 1990). Los estudios realizados en el este de Canadá y otras áreas con suelos pobres demostraron que las emisiones prolongadas de ácido nítrico han agotado los cationes básicos, particularmente el calcio, lo suficiente como para poner en peligro el rebrote de los bosques después de la tala (Watmough *et al*., 2005). Una vez que el calcio de los suelos se agota suficientemente, la escorrentía del componente de las cuencas hidrográficas también causa el agotamiento del calcio en los lagos, lo que lleva a la eliminación de la dafnia y otros crustáceos y moluscos sensibles al calcio. Las dafnias son muchas veces reemplazadas por *Holopedium*, un crustáceo tolerante a los ácidos que tiene un gran caparazón gelatinoso que es más difícil de ingerir por los zooplanctívoros. La resultante abundancia de *Holopedium* ha llevado a algunos a referirse al resultado como la "gelificación" de los lagos (Jeziorski *et al*., 2008). La acidificación continúa constituyendo un problema, aunque en menor grado, debido a las políticas débiles canadienses que se formularon para reducir las emisiones de óxido nítrico.

Si bien lo ideal es que la lluvia ácida en el este de Canadá se reduzca, a partir de la década de 1980

han surgido nuevos problemas en este sentido en el oeste del país, donde las emisiones acidificantes de las arenas bituminosas o de alquitrán de Alberta se transfieren a través del Escudo Precámbrico sensible al ácido del noroeste de Saskatchewan (Whitfield y Watmough, 2012). Se han registrado leguminosas ácidas durante la primavera en algunas corrientes de la región de las arenas petrolíferas, aunque su impacto en las especies y la biodiversidad todavía se desconocen (Alexander *et al.*, 2017). Se prevé que el problema de la acidificación empeore a medida que aumente la extracción de arenas petrolíferas. Un gran contribuyente a la acidificación de las emisiones es la alta emisión de óxidos de nitrógeno de los enormes camiones que se utilizan para transportar el alquitrán.

Drenaje y emisiones de minas tóxicas

La minería ha sido una de las industrias tradicionales de Canadá, pero derivado de una regulación laxa, la contaminación relacionada con aquélla ha causado problemas regionales en muchas zonas del país. Al iniciar el nuevo milenio, ya había más de 10,000 minas abandonadas (Mackasey, 2000). Se contaban, entre ellas, desde minas de carbón y de metales comunes, hasta las de arenas petrolíferas y uranio. Las reglamentaciones deficientes y los desarrolladores sin escrúpulos, en muchos casos han dejado incompleto el restablecimiento de los sitios mineros abandonados, dando lugar a la filtración de toxinas y a otros problemas que constituirán un problema que las generaciones futuras de contribuyentes deberán resolver. Los costos por limpieza y obras de recuperación de muchas de las minas son tan elevados, que se han relegado a lo que se denomina "cuidados perpetuos" (fondos para mantener la propiedad), que utilizan los departamentos gubernamentales para controlar la filtración de toxinas y, en general, conservar la integridad de los sitios, sin resolver el problema de fondo. En 2002, el costo anual reportado de estos cuidados fue de $20 millones tan sólo en los Territorios del Noroeste (Auditor General de Canadá, 2002). El costo de cuidado de minas abandonadas en el norte se estimó en más de $700 millones.

El problema más notorio de los últimos tiempos en este sentido fue la Mina Gigante, que extrajo oro de minas subterráneas y a cielo abierto a sólo 5 km al norte de Yellowknife, en los territorios del noroeste. La mina produjo más de 220,000 kg de oro durante su operación, entre 1948 y 2004. En respuesta a las preocupaciones del público sobre la emisión de polvo de arsénico tóxico a la atmósfera, en 1951 la mina comenzó a soplar el polvo de trióxido de arsénico a los pozos subterráneos que se habían explotado, aduciendo que el permafrost mantendría el arsénico en su lugar de forma permanente. Para cuando se cerró la mina, se habían almacenado más de 237,000 toneladas de trióxido de arsénico de esta manera. Sin embargo, durante el mismo período, el clima aumentó al menos 3 grados en el área, y la disminución del permafrost está causando que el arsénico almacenado se movilice con el agua que inunda la mina. Los planes actuales incluyen el uso continuo de tecnología de congelación similar a la utilizada en las pistas de hielo, para mantener congelado el trióxido de arsénico. En 2013, se estimó que el costo de esta rehabilitación costaría a los contribuyentes alrededor de mil millones de dólares (https://www.cbc.ca/news/canada/north/yellowknife-s-giant-mine-cleanup-costs-to-double-1.1313262).

La mina Colomac era una mina de oro a cielo abierto ubicada a 222 km al norte de Yellowknife. Funcionó únicamente cuatro años, entre 1990 y 1997, y nunca fue rentable. Una laguna de relaves de 76 ha contenida por un dique de tierra está contaminada con cianuro, metales tóxicos y amonio que derramaría el suministro de agua potable de las comunidades Dene en las corrientes de abajo del río Indio, si el dique cediera. En 2002, se estimó que el saneamiento costaría $70 millones (Auditor General de Canadá, 2002). Según los informes, el saneamiento ya se llevó a cabo, en colaboración con el Gobierno federal y las comunidades indígenas (https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/federal-contaminated-sites/success-stories.html#colomac). El sitio se continúa monitoreando, pero no se han publicado los costos reales ni los resultados de la evaluación realizada.

Entre los sitios mineros más afectados se encuentra la vasta área de arenas petrolíferas del noreste de Alberta, donde se explotan más de 4800 km^2 para extraer alquitrán. Los estanques de relaves por sí solos abarcaban un área total de 220 km^2 en 2017, con 1.2 x 1012 litros de relaves tóxicos con-

tenidos por diques de tierra de hasta 90 m. Si bien las normas actuales establecen que los estanques de relaves deben sanearse en un plazo no mayor de 10 años después de finalizados los trabajos de extracción, esta normativa no se cumple. Se teme que la regeneración de las arenas petrolíferas resulte demasiado costosa y que las empresas, convenientemente, dejen esta carga sólo a los contribuyentes canadienses. En 2015, las compañías de arenas petrolíferas únicamente habían garantizado 1,900 millones de dólares, pero las recientes revelaciones bajo la Ley sobre la Libertad de Información indican que el costo real de la recuperación se estimó en $260 mil millones de dólares por acción (www.thestar.com/news/investigations/2018/11/01/what-would-it-cost-to-clean-up-albertas-oilpatch-260-billion-a-top-official-warns.html). La industria sólo reservó 0.6% de esta cantidad, lo que sugiere que la recuperación acabará siendo financiada en gran parte por el público, si es que se hace.

El agua de los estanques de relaves de arenas petrolíferas es sumamente tóxica para una gran variedad de organismos. El fango alquitranado flotante es mortal para las aves y otros animales que se adentran en los estanques, y se sabe que existen altas concentraciones de ácidos nafténicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales traza tóxicos y otros contaminantes, además de la salinidad, que es mucho más elevada de lo permitido por las normas federales o Alberta.

Existe la preocupación en el sentido de que la filtración de los estanques de relaves podría contaminar el agua del río Athabasca, que se localiza cerca de este lugar. La reciente investigación de Frank *et al*. (2014) utilizó la técnica de "huellas digitales" basándose en las similitudes encontradas en conjuntos de compuestos orgánicos que prueban que los contaminantes de los estanques de relaves ya han encontrado su camino al río. La filtración estimada es de 6.5 millones de litros por día. Las consiguientes concentraciones de contaminantes en el río son pequeñas porque están diluidas en un promedio de 780 $m^{-3}s^{-1}$ de agua proveniente de las arenas petrolíferas, y dan pie a que los voceros de las industrias aseguren al público que todo está bien. Las emisiones en suspensión en el aire provenientes de los estanques de relaves también son consideradas una fuente regional importante de contaminantes orgánicos semivolátiles (Parajulee y Wania, 2015).

Nunca se aborda el tema de que el dique de relaves pudiera fracturarse por fallas en el diseño o por causas derivadas de un desastre natural, aunque estos imprevistos han sido causa de altos costos, además de consecuencias ecológicamente devastadoras en los estanques de relaves de otras partes (Blight y Fourie, 2005), aun cuando la cantidad de relaves liberados fue mucho menor de lo que podría ocurrir en las arenas petrolíferas. La fractura del dique de un estanque de relaves de arenas petrolíferas sería particularmente destructiva si se produjera en invierno, ya que la filtración correría bajo el hielo y podría transportarse hasta los lagos Athabasca y Slave, para finalmente llegar al Gran Lago del Esclavo y al río Mackenzie.

El 31 de octubre de 2013 se fracturó un dique de relaves en la mina de carbón Obed Mountain, y la filtración llegó al río Athabasca, a 1,100 km río arriba de su boca, ocasionando la liberación de 670,000,000 litros de lodo de carbón en el río Athabasca. Al momento de este suceso, se estaba formando hielo en el río, y la cubierta de hielo no permitió realizar un monitoreo eficaz de la evolución del derrame o de su toxicidad para la vida acuática. Se pudo rastrear el derrame que incluía arsénico, metales tóxicos e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) a lo largo del río hasta el lago Athabasca (Cooke *et al*., 2016). Los gobiernos federales y provinciales multaron a la compañía con $4.5 millones de dólares.

En un incidente similar, pero sin relación alguna, los días 3 y 4 de agosto de 2014 se fracturó el dique del estanque de relaves en la mina de cobre y oro Mount Polley en la Columbia Británica, lanzando 21 mil millones de litros de agua a las corrientes de agua que desembocan en el lago Quesnel, un importante criadero de salmón rojo. Se descubrió que la represa estaba mal construida y que ya se había reportado una grieta importante en 2010. Algunos atribuyen el desastre a los recortes en la frecuencia de las inspecciones de minas por parte del Gobierno de la Columbia Británica unos años antes. La investigación continúa en curso y, hasta la fecha, no se han presentado cargos. Por lo pronto, los últimos informes sobre el regreso del salmón parecen indicar que los efectos del derrame no tuvieron mayores consecuencias (https://www.wltribune.com/news/sockeye-salmon-return-in-droves-to-quesnellake-watershed/). A menos que las regulaciones se refuercen, es muy probable que ocurra una de-

sastrosa liberación de estanques de relaves en Canadá, especialmente en las arenas petrolíferas, donde los diques y relaves son mucho más grandes y tóxicos que los de los ejemplos anteriores.

Mercurio

Pocos contaminantes han causado problemas tan grandes en las aguas canadienses como el mercurio. El problema más conocido con el mercurio fue el caso del río Wabigoon y las comunidades indígenas de Grassy Narrows y Whitedog en el norte de Ontario. En 1962, la empresa Dryden Chemical Company comenzó a realizar un proceso de fabricación de cloro álcali para producir sosa cáustica y cloro para blanquear el papel. Las dos compañías pertenecían a la multinacional británica Reed International.

El efluente de la planta de producción de cloro-álcali descargaba directamente al sistema de los ríos English-Wabigoon, corriente abajo del lago Wabigoon. En 1970 se descubrió una extensa contaminación por mercurio en el sistema fluvial, lo que provocó el cierre de la pesca comercial y la destrucción de los medios de subsistencia de Grassy Narrows y Whitedog, dos Naciones Originarias de Canadá situadas a más de 100 km río abajo que dependían de la pesca para su subsistencia y de los ingresos que obtenían como guías para la pesca deportiva. En marzo de 1970, el Gobierno provincial de Ontario ordenó a la empresa Dryden Chemical Company que dejara de verter mercurio en el sistema fluvial. Se estimó que la compañía habría arrojado más de 9,000 kg de mercurio en el sistema fluvial de los ríos Wabigoon-English. La compañía suspendió el uso de células de mercurio en su proceso de fabricación de cloro-álcali en octubre de 1975 y cerró un año después.

Para cuando se descubrió el problema, el sistema fluvial y su fauna ya habían sido gravemente contaminados. Se encontró más de 10 ppm de mercurio en peces depredadores, casi todo en forma de metilmercurio tóxico. Los primeros investigadores del problema recomendaron un proceso de mitigación (Rudd y Turner, 1983; Parks y Hamilton, 1987), pero las autoridades creían que el río se limpiaría solo con el tiempo. Los últimos 50 años, el mercurio en peces ha disminuido a cerca de 1/3 de los valores iniciales, pero las concentraciones son todavía demasiado altas para el consumo humano (2-4 ppm en especies depredadoras), y la cantidad de mercurio en sedimentos del fondo y en peces es varias veces superior a la de los lagos de referencia cercanos. Por otra parte, las concentraciones tanto en peces como en sedimentos ya han alcanzado un límite que poco ha cambiado los últimos 20 años (Rudd *et al*., 2017).

Rudd *et al*. (2017) encontraron que todavía existían posibles fuentes de mercurio en el sitio donde se encontraba la planta de producción de cloro-álcali, así como vertederos de residuos cercanos, y ya existen planes para rehabilitar el área. Pero los sedimentos en el río y en los lagos río abajo de la planta de celulosa se encuentran todavía altamente contaminados con mercurio que cada año se recicla, y todavía no se concluyen los planes de rehabilitación.

Como consecuencia de comer pescado contaminado, a finales de la década de 1960, se encontró que las personas de Grassy Narrows y Whitedog presentaban síntomas de la enfermedad de Minamata. Con frecuencia, los niveles de mercurio excedían 100 ppb en sangre en las personas de las Naciones Originarias, y en algunos casos, se registraron valores de más de 200 ppb. Se observaron síntomas neurológicos y otros trastornos relacionados con la intoxicación por mercurio similares a los observados después de la exposición al mercurio en Minamata Bay, Japón. Los síntomas de este mal eran bastante generalizados cuando se examinó a la comunidad en 2010 (Takaoka *et al*., 2013). En 2018, un informe epidemiológico mostró que la salud general en todas las edades de la comunidad era más precaria que en otras comunidades indígenas y comunidades rurales en general (https://www.cbc.ca/news/canada/thunder-bay/grassy-narrows-health-report-release-1.4675091). Este informe todavía no se ha hecho público. A partir de la creciente evidencia, en 2017 la provincia de Ontario asignó fondos para la rehabilitación del sistema del río Wabigoon, pero aún se encuentra en etapa de planeación.

Los principales problemas de envenenamiento por mercurio para los pueblos indígenas de Canadá también se agravaron con la construcción de embalses hidroeléctricos (Calder *et al*., 2016). Los estudios realizados en Manitoba, Ontario y Quebec han demostrado que los suelos y la vegetación que se inundan debido a los embalses liberan mercurio y aumentan la metilación por efecto de las bacterias (Bodaly *et al*., 1984; Kelly *et al*., 1997; Schetag-

ne *et al*., 2013). Como ocurrió en el caso de Grassy Narrows, el metilmercurio se biomagnificó en las cadenas alimenticias y alcanzó niveles en los peces que ameritan la imposición de restricciones en el consumo con objeto de proteger la salud humana.

El mercurio en los peces por lo general continúa siendo elevado entre 10 y 30 años después de que un embalse se haya inundado (Rosenberg *et al*., 1995; Guerra *et al*., 2007). Por consiguiente, esto implica que los usuarios que dependen de los medios de subsistencia de los ríos deberán esperar por lo menos dos generaciones, y esto constituye una clara violación de los derechos de los tratados y de los derechos humanos.

Incluso las concentraciones de mercurio en el aire han aumentado lo suficiente como para causar problemas en algunos lugares más alejados. El mercurio se libera como consecuencia de la combustión a alta temperatura, porque es muy volátil. Después de su emisión, es capaz de transportarse miles de kilómetros a través de la atmósfera, antes de depositarse nuevamente, para contaminar lagos de regiones remotas (Chételat *et al*., 2015). Los lagos en estas regiones muchas veces contienen especies depredadoras que tienen una vida larga pero un crecimiento lento, condiciones ideales para biomagnificar el mercurio a altos valores. Por ejemplo, Kidd *et al*. (1995) encontraron que las largas cadenas alimenticias de los lagos del norte en muchos casos biomagnificaban las concentraciones de mercurio en la trucha de lago a valores en que fue necesario emitir alertas sobre su consumo. Se encontraron resultados similares en todo el ártico canadiense durante el Programa de Contaminantes del Ártico Canadiense (Muir y DeWitt, 2010; Chételat *et al*., 2015).

Si bien se sabe que las consecuencias globales del mercurio atmosférico se han multiplicado aproximadamente tres veces desde la revolución industrial (Fitzgerald *et al*., 2005), estudios más recientes también sugieren que ha afectado a otras fuentes regionales. Kelly *et al*. (2010) encontraron concentraciones elevadas de mercurio (así como concentraciones de muchos otros contaminantes) en la nieve a un radio de 50 km del centro de las refinerías de arenas petrolíferas. Radmanowich (2012) encontró concentraciones ligeramente más altas de mercurio en el agua y los peces del río Athabasca corriente abajo de esta misma fuente. Benjet *et al*. (2013) encontraron que más abajo del río Athabasca, los huevos de las aves que comen peces mostraron concentraciones cada vez mayores de mercurio los últimos 30 años. Las comunidades indígenas que dependen de los peces o las aves se ven afectadas por las alertas de consumo derivadas de este hecho. Desafortunadamente, los planes actuales canadienses dirigidos a controlar las emisiones de gases de efecto invernadero (http://publications.gc.ca/site/eng/9.825953/publication.html) incluyen construir el equivalente a 100 grandes embalses hidroeléctricos antes de 2040, principalmente en ríos del norte, donde contaminarían a los peces y otros animales acuáticos, y se violarían los derechos humanos y de las disposiciones establecidas en los Tratados de Canadá, que se supone protegen los derechos de los Pueblos Indígenas y garantizan sus derechos de explotación de sus tierras ancestrales (Schindler, 2018).

El calentamiento climático es un factor que puede agravar la contaminación por mercurio. En general, los bosques y los humedales secuestran el mercurio que ingresa a la atmósfera, contribuyendo así a evitar que la mayoría de éste ingrese aguas abajo. Empero, los incendios forestales liberan gran parte del mercurio almacenado en los suelos y la vegetación, dando lugar a elevadas concentraciones en las aguas corriente abajo (Kelly *et al*., 2006). Los incendios forestales en Canadá ya han aumentado en área e intensidad de forma considerable, lo que significa que más mercurio entrará en los cuerpos de agua río abajo. Swanson *et al*. (2006) también encontraron que la invasión del eperlano u Osmerus mordax en comunidades de peces nativos, ocasionó un aumento del mercurio en los peces depredadores debido a la alteración de la cadena alimenticia.

Especies invasoras

Uno de los problemas más graves del agua dulce en Canadá ha sido la introducción de "contaminantes biológicos" a causa de la introducción accidental o deliberada de especies de otros continentes. De nueva cuenta, los Grandes Lagos son el mejor ejemplo documentado, con más de 180 especies no nativas e invasoras conocidas que se han introducido, el mayor número de cualquier ecosistema del mundo (Pagnucco *et al*., 2015). Lamentablemente, el daño causado por las especies invasoras casi siempre va mucho más allá de lo ecológico. Pone en pe-

ligro la salud humana y perjudica la economía de los Grandes Lagos al ocasionar daños a importantes sectores como la pesca, la agricultura y el turismo. Analizar todo este tema ocuparía muchas páginas, pero se ofrecen algunos ejemplos que ilustran la importancia que esto reviste para los Grandes Lagos y los seres humanos próximos a estas cuencas colectoras.

El primero de los muchos invasores que representó un problema fue la lamprea de mar *Petromyzon marinus*, que es nativa del Océano Atlántico. Ya se había detectado en el lago Ontario en 1835, pero las cataratas del Niágara le impidieron ingresar a otros Grandes Lagos, hasta que logró entrar por el recién terminado Canal de Welland en algún momento del siglo XIX. Las lampreas se extendieron lentamente a través de los otros Grandes Lagos, y llegaron incluso al Lago Superior en 1938. En la década de 1940, las poblaciones de lamprea aumentaron drásticamente, ocasionando un gran daño a la lucrativa pesca de truchas de lago, pescado blanco y cisco, que habían llegado a producir hasta 7 millones de kg de peces por año. En unos cuantos años, la pesca se redujo a aproximadamente 2% de los valores previos a la lamprea. Se han implementado costosos programas de control de la lamprea desde hace varios decenios, pero no han logrado eliminar la especie (http://www.glfc.org/sea-lamprey.php).

Según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), "las especies como el mejillón cebra, el mejillón quagga, el gobio redondo, la lamprea de mar y la sardina del Pacífico se reproducen y propagan, a la larga degradando el hábitat y superando en número a las especies nativas y a las redes alimentarias de circuitos o canales cortos". Las plantas no nativas como la salicaria (o frailecillo) y el milefolio euroasiático también han ocasionado daños al ecosistema de los Grandes Lagos.

Se cree que los mejillones cebra y quagga *Dreissena polymorpha* y *D. bugensis* se introdujeron a fines de la década de 1980 a través de las aguas de lastre de barcos transoceánicos que transportaban estos moluscos en sus etapas larval, joven y adulta. Los mejillones cebra y quagga son capaces de colonizar masivamente tanto las superficies duras como las blandas, como muelles, embarcaciones, rompeolas y playas. También se atribuye a las colonias de estas especies la obstrucción de las estructuras de toma de agua de las centrales eléctricas y plantas de tratamiento de agua, y su eliminación es lenta y costosa. Los mejillones cebra continúan invadiendo otras aguas, entre ellas, los pequeños lagos de Canadá y EUA, y el lago Winnipeg en 2014. Son capaces de vivir varios días fuera del agua, y probablemente se transportan de un lago a otro en pequeñas embarcaciones, adhiriéndose a los cascos, motores y anclas de los barcos. Muchas áreas han puesto en práctica estaciones de limpieza obligatorias, que exigen que limpien e inspeccionen las embarcaciones antes de su ingreso, en un intento por frenar la propagación de los mejillones cebra.

Los mejillones invasores ofrecen otro ejemplo de cómo la calidad del agua puede verse afectada por factores que no tienen que ver con productos químicos. Los mejillones invasores filtran el agua mucho más rápidamente que las especies nativas, limpian el agua y excretan nutrientes cerca del fondo del lago. Esto ha dado lugar a una proliferación de algas adheridas, como la *Cladophora*, en zonas cercanas a la costa, en una especie de derivación bentónica. Los herbívoros no consumen eficazmente las esteras de algas, en lugar de eso, éstas se secan y vuelan hacia la costa donde se apilan en hileras causando problemas de olor y sabor (Hecky *et al*., 2004).

Muchos de los otros invasores han causado grandes daños a la comunidad acuática de los Grandes Lagos, haciendo que ésta pierda mucho de su impecable estado.

El agua potable de Canadá

La mayoría de las grandes ciudades de Canadá cuentan con excelente agua potable, a partir de las modernas plantas de tratamiento diseñadas por especialistas en calidad de agua y sustentadas por sistemas de control y monitoreo electrónico de vanguardia que se actualizan con frecuencia. Las fuentes de agua pueden ser un problema, en especial en las praderas occidentales, donde los principales ríos se utilizan tanto para el suministro como para la eliminación de residuos. Por consiguiente, han surgido algunos casos bastante clásicos de enfermedades transmitidas por el agua.

Por ejemplo, en la ciudad de Edmonton surgieron cada vez más casos cuyos síntomas eran similares a los de la gripe a fines de 1982, cuando dos plan-

tas de tratamiento de agua potable daban servicio a unas 700,000 personas. El brote continuó por varios meses, pero la ciudad primero negó toda responsabilidad en este hecho. Finalmente, se identificó el brote como giardiasis, que ocurre como consecuencia de la contaminación de los suministros de agua con el protozoo *Giardia lamblia*, que es resistente a la cloración. Se confirmaron más de 800 casos de giardiasis, y se estimó que el número total de personas afectadas probablemente fue bastante mayor. Se identificó que la entrada de agua de una de las plantas de tratamiento de la ciudad se localizaba más abajo de los desagües pluviales donde se combinaban las aguas residuales y las aguas estancadas durante eventos de tormenta (Hrudey y Hrudey, 2004). Consecuentemente, se revisó y reacondicionó todo el sistema de tratamiento y eliminación de agua de la ciudad, incluyendo el tratamiento UV para matar protozoarios.

En comparación, la experiencia y recursos de muchas comunidades pequeñas son limitados, ya que dependen de infraestructuras obsoletas que están en mal estado, y de personal mal capacitado. Por ejemplo, en Walkerton, Ontario, se experimentó un brote de infección por *E. coli* en mayo de 2000, justo después de que una lluvia torrencial causara inundaciones en el área. Siete personas murieron y más de 2000 se enfermaron. Las investigaciones revelaron que uno de los pozos de agua subterránea que se utilizó como suministro de agua se contaminó durante la inundación debido a la escorrentía de un corral de engorda cercano. Un clorinador no funcionaba y los trabajadores de la planta habían descuidado la supervisión de las medidas de seguridad y distorsionado la información de forma deliberada. Se pidió a la comunidad que hirviera el agua durante varios meses, y el incidente fue objeto de una investigación judicial (http://www.archives.gov.on.ca/en/e_records/walkerton/index.html).

En marzo de 2001, síntomas parecidos a los de la gripe se hicieron más comunes entre los residentes de North Battleford, Saskatchewan, una localidad de 14,000 habitantes. La entrada de agua de la ciudad también se encontraba más abajo del efluente de su planta de tratamiento de agua. Con el tiempo, se diagnosticó el problema como criptosporidiosis, resultado de la contaminación de los suministros de agua debido a *Cryptosporidium parvum*, que al igual que *Giardia*, es resistente a la cloración. Tres personas murieron y miles más enfermaron. Este hecho también fue objeto de una investigación judicial (http://www.publications.gov.sk.ca/freelaw/Publications_Centre/Justice/NorthBattlefordWater/NorthBattlefordWaterInquiry.pdf).

Finalmente, se descubrió que las granjas de engorda ubicadas en los tramos superiores del río Saskatchewan norte probablemente eran la fuente de ovocitos de *Cryptosporidium* en Edmonton y North Battleford (Hrudey y Hrudey, 2004). Muchas otras poblaciones y ciudades también extraen su agua del río, por lo que corrían un peligro similar. En vista de que el mayor número de granjas de engorda y las tierras de cultivo con la mayor aplicación de estiércol se encuentran en Alberta, los ríos de esa provincia son particularmente vulnerables a la contaminación https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-002-x/2008004/c-g/manure-fumier/map-carte001-eng.htm.

El problema del agua potable es particularmente grave en las praderas del sur, donde las fuentes de agua son limitadas y, muchas veces, de mala calidad. Los primeros colonos tuvieron que superar muchos obstáculos para ajustarse a la falta de agua potable en las regiones de las praderas del sur. En 1960, la Ley de Rehabilitación Agrícola de las Praderas (PFRA) recomendó a los granjeros que construyeran sus propias "cisternas" para recolectar el agua de escorrentía derivada del deshielo (http://www.pfra.ca/doc/Dugouts/Miscellaneous/DugoutsForFarmWaterSupplies_1985.pdf). Muchas de estas cisternas todavía se siguen utilizando, pero muchas otras están sumamente contaminadas con algas y toxinas, además de problemas de olor y sabor. En las cercanías de las grandes ciudades, muchas comunidades rurales simplemente extraen agua de las grandes plantas acuáticas modernas, pero esto no es factible para las comunidades alejadas de instalaciones modernas. Generalmente, en Canadá existen más de 1000 alertas en las que se recomienda hervir el agua, algunas de ellas se han mantenido vigentes durante todo un año y, otras, incluso varios años (http://www.watertoday.ca/map-graphic.asp).

Lo peor de todo son los problemas de agua potable que padecen las comunidades indígenas, ya que éstas dependen de las leyes federales, en lugar de las provinciales, pero los presupuestos de operación de las leyes federales generalmente son

muy bajos. En 2018, se mantuvieron las alertas sobre el consumo de agua potable en 91 Naciones Originarias de Canadá por largo tiempo. El Gobierno federal prometió hace poco eliminar las alertas de consumo para 2021, pero es poco probable que esto suceda con más de 1000 Naciones Originarias que no cuentan con suficientes plantas de tratamiento de agua y cuando muchas de las existentes deben reemplazarse o requieren trabajos de renovación y mejora. La Oficina de Presupuesto Parlamentario calcula que este objetivo implica un costo de $3.2 mil millones.

Varios de los problemas, algunos de ellos bastante singulares, representan un obstáculo en la erradicación de los problemas de agua potable de las Naciones Originarias. Muchas de éstas cuentan con fuentes de agua deficientes, con altos grados de turbidez, muchos sólidos disueltos o altas concentraciones de nutrientes e, incluso, elevados niveles de arsénico. Los métodos convencionales que se utilizan para la desinfección de aguas con elevada turbidez o sólidos disueltos implican agregar una abundante cantidad de cloro. A muchas comunidades indígenas no les gusta el sabor que esto genera, y es ampliamente conocido que la combinación de un alto contenido de cloro y sólidos disueltos da origen a trihalometanos y otros carcinógenos. A pesar de que el aumento en la incidencia de cáncer es muy bajo, la gente, por lo general, evita el uso del agua.

Otro problema es la escasez de operadores calificados de plantas de tratamiento de agua. No se cuenta con suficiente gente capacitada por el Gobierno federal, además de que su rotación es muy frecuente debido a los bajos salarios que reciben por realizar un trabajo que conlleva mucha responsabilidad.

Muchas comunidades indígenas están dispersas a lo largo de vastas regiones, y sus viviendas en algunos casos se encuentran separadas por más de un kilómetro. La instalación y mantenimiento de un sistema de distribución resulta costosa y, en muchas ocasiones, se utilizan cisternas o barriles para almacenar agua, dando lugar a una contaminación secundaria.

Ha habido algunas historias de éxito que deberían servir como modelo para lo que podría hacerse. La Fundación de Agua Potable Segura es una pequeña organización sin fines de lucro que se estableció para fomentar la educación sobre el agua potable y para ayudar a resolver los problemas de agua potable que enfrentan los Pueblos Originarios de las praderas. Con objeto de atender un primer caso, se invitó a un solo ingeniero de la Fundación de Agua Potable Segura, de nombre Hans Peterson, a la Nación Originaria de Yellowquill, situada al noroeste de Yorkton, Saskatchewan, en 1999. La comunidad hervía agua desde 1985 a partir de una alerta emitida por aquel entonces. Tanto el tratamiento mediante una planta de tratamiento convencional como a través de ósmosis inversa habían fracasado. Las membranas de ósmosis inversa se atascaban en cuestión de horas y hacían necesario que las descargas se realizaran con demasiada frecuencia. El problema resultó ser el carbono orgánico disuelto de 25mg L^{-1}, que también ocasionó que el agua tuviera un color marrón oscuro.

Peterson dedujo que la materia orgánica disuelta probablemente contenía moléculas refractarias grandes que resultaban difíciles de descomponer y ocasionaban una rápida obstrucción de las membranas de ósmosis inversa. Agregó un prefiltro biológico a la toma de agua. También utilizó membranas de osmosis inversa de vanguardia. La estrategia tuvo éxito y, en 2004, la planta de tratamiento de agua se inauguró oficialmente (http://ammsa.com/publications/saskatchewan-sage/clean-water-flowing-yellow-quill-taps).

Se capacitó a los operarios locales para operar la planta y, desde entonces, ha estado brindando servicio a la comunidad. La planta Integrada de Membrana Biológica y de Ósmosis Inversa (IBROM) de Peterson actualmente se ha reproducido en otras Naciones Originarias, logrando resolver con éxito una amplia variedad de problemas derivados de las fuentes de agua, entre ellos, las floraciones de cianobacterias tóxicas y los altos contenidos de arsénico (https://www.safedrinkingwaterteam.org/ibrom/). Hoy día, Sapphire Water, una pequeña empresa de Saskatchewan, comercializa sus propias plantas Integradas de Membrana Biológica y Ósmosis Inversa (https://www.sapphire-water.ca/).

Las plantas IBROM cuentan con una serie de características muy apreciadas por las Naciones Originarias. No requieren la adición de grandes cantidades de costosos productos químicos. Después del tratamiento, el agua se pasa a través de un filtro mineral para restaurar el calcio y el magnesio –lo que hace que el agua sea menos nociva– y una cantidad

muy pequeña de cloro para evitar la contaminación secundaria. Las plantas ocupan poco espacio y requieren poco mantenimiento. Los operarios de la planta y algunos especialistas externos han formado el Equipo de Agua Potable Segura (véase el sitio web citado antes) para ayudar a resolver los problemas del agua de las Naciones Originarias y de otras comunidades pequeñas. La planta más grande en operación se encuentra en Saddle Lake, Alberta, y suministra agua potable a más de 6,000 personas de la segunda Nación Originaria más grande de la región. Actualmente, se encuentran en operación al menos 21 plantas IBROM. Peterson *et al*. (2007) explican el proceso IBROM.

Muchas de las ciudades del oeste de Canadá se ubican cerca de los ríos, donde se establecieron originalmente como centros de transporte, ya que la mayoría de los primeros viajeros utilizaba los ríos como carreteras. Extraen y descargan sus aguas residuales en los mismos ríos. Los productos modernos para el cuidado personal, incluidos los productos farmacéuticos, las hormonas anticonceptivas y los cosméticos son motivo de preocupación, ya que no se degradan tan rápidamente como las aguas residuales, y algunos contienen nanomateriales que no se han evaluado a fondo. A pesar de que las concentraciones son pequeñas, continúan siendo motivo de preocupación porque son disruptores endocrinos o porque generan comunidades microbiológicas resistentes a los medicamentos. Los corrales de engorda que descargan en los ríos también agregan productos farmacéuticos y disruptores endocrinos.

En una impresionante prueba, Kidd *et al*. (2007) agregaron una pequeña cantidad (5-6 ng^{L-1}) del estrógeno sintético utilizado en las píldoras anticonceptivas (17a-etilinoestradiol; EE2) a un pequeño lago en el Área de Investigación de Lagos durante tres veranos. Se observaron rápidos cambios en los tejidos gonadales tanto de los machos como de las hembras de piscardo de cabeza grande, *Pimephales promelas*, y la consecuencia fue una falla reproductiva y el colapso de la población de peces. Otras especies de peces fueron menos sensibles, y los insectos, el zooplancton y las algas no se vieron afectados. Ciertamente, algunas poblaciones de invertebrados aumentaron, lo que se atribuyó a la menor presión por depredación cuando disminuyó la población de carpitas cabezonas. Los efectos se continuaron observando en las carpitas cabezonas durante dos años después de que se interrumpiera la adición del estrógeno, pero la población se ha recuperado a los niveles previos al tratamiento (Kidd *et al*., 2014). Algunas veces se han reportado disruptores endocrinos aguas abajo de los efluentes de aguas residuales (Falconer, 2006).

También se sabe que la agricultura y la silvicultura liberan sustancias químicas que son disruptores endocrinos, y se han encontrado peces feminizados en áreas donde los vertidos de los corrales de engorda y las plantas de celulosa desembocan en los ríos.

Una gran variedad de productos farmacéuticos y de cuidado personal se encuentran en el agua potable canadiense, sobre todo, donde los ríos más importantes suministran agua a varias ciudades. Se vierten antibióticos, disruptores endocrinos, micropartículas de plástico, productos químicos cosméticos y una gran variedad de diversas sustancias químicas en aguas residuales, y los tratamientos convencionales no los eliminan. A medida que se identifican estas sustancias químicas y sus efectos, se implementan más estrategias de ósmosis inversa y una variedad de modernos tratamientos de agua potable. Es muy posible que esta tendencia continúe (Ebele *et al*., 2017). Es de esperarse que el costo del tratamiento de agua potable aumente de forma considerable en las grandes ciudades, a medida que se renueven o reemplacen las plantas de cloración.

Organoclorados y otros compuestos orgánicos semi-volátiles

Entre los contaminantes más extraños y problemáticos que existen, se encuentra una serie de contaminantes orgánicos que persisten en el medio ambiente y que se biomagnifican en las cadenas alimenticias, se volatilizan a ciertas temperaturas ambientales y se condensan a temperaturas ligeramente más bajas. Estos compuestos semi-volátiles incluyen muchos bifenilos policlorados (PCB), un gran número de pesticidas como el DDT, el toxafeno, la dieldrina y muchos otros. Las dioxinas y los furanos se encuentran entre los compuestos que ocasionaron problemas en Canadá, porque hasta que fueron regulados a fines de la década de 1990,

los vertían las fábricas de pulpa y papel que usaban procesos de blanqueo a base de cloro. Se biomagnificaron en las cadenas alimenticias a concentraciones que ameritaron emitir alertas de consumo (Muir *et al*., 1992). Después de la regulación, las concentraciones disminuyeron poco a poco, y la mayoría de las alertas de consumo ya no fueron necesarias.

Muchos de los Contaminantes Orgánicos Persistentes originales (o COP) eran compuestos clorados, pero últimamente muchos compuestos bromados y fluorados han mostrado propiedades similares. Aunque primero se consideraron una curiosidad del transporte atmosférico de largo alcance, pronto se descubrió que se biomagnificaban a altos niveles en las cadenas alimenticias árticas, como resultado de las largas cadenas alimenticias de algunos organismos de larga duración que almacenaban estacionalmente grandes cantidades de lípidos, y la mayoría de los contaminantes son lipofílicos (Muir *et al*., 1988). Luego del descubrimiento de que muchas de las toxinas bioacumuladas alcanzaban concentraciones perjudiciales en los pueblos indígenas del norte, se inició un esfuerzo circumpolar para identificar, rastrear y reducir dichos compuestos: como parte del Programa de Monitoreo y Evaluación del Ártico, Muir y DeWitt (2010) analizaron los resultados de esta medida; Wania y Mackay (1995) pudieron explicar cómo aparecían estos compuestos en el ártico, a pesar de que la mayoría se emitían miles de kilómetros al sur. La mayoría tiene un comportamiento semi-volátil a temperaturas estacionales normales, por lo que los químicos emitidos por las industrias y los suelos en latitudes del sur irían gradualmente hacia el norte, ya que se condensarían a temperaturas más frías, moviéndose como rocío sobre la hierba.

Las mismas propiedades semi-volátiles permiten que los químicos aumenten en concentración con la elevación, donde se almacenan en la nieve acumulada y los glaciares (Blais *et al*., 1998; Guerra *et al*., 1999). A medida que el calentamiento global ocasiona que los glaciares se derritan, algunos de los pesticidas que fueron secuestrados en los glaciares en el pasado se están movilizando otra vez para entrar en los lagos y arroyos alpinos (Donald *et al*., 1999; Blais *et al*., 2001). Por fortuna, se descontinuó el uso de muchos de los pesticidas más nocivos antes de que su concentración en el hielo alcanzara niveles excesivos y representara un peligro para los organismos en las cadenas alimenticias alpinas, aunque las cadenas alimenticias que se han investigado hasta el momento son también mucho más cortas que las del ártico, lo que ha contribuido a reducir la posibilidad de biomagnificación en los depredadores superiores (Campbell *et al*., 2000; Demers *et al*., 2007).

Conclusiones

Debido a la proliferación de los problemas en relación con la calidad del agua en Canadá, ha quedado claro que las fuertes inversiones efectuadas para llevar a cabo estas investigaciones en la década de 1960 fueron una excelente idea. Se identificaron muchos de los problemas relacionados con a la calidad del agua, y otros tantos se redujeron o eliminaron por completo. Los problemas restantes son en gran parte consecuencia directa de las políticas débiles e inconsistentes entre los organismos federales y provinciales. A pesar del fracaso de las últimas políticas sobre agua que se ilustraron con anterioridad, muchas industrias argumentan que es necesario simplificar los procesos reguladores, lo que repercutiría en un mayor debilitamiento de las políticas sobre agua. Las organizaciones no gubernamentales, como el Consejo de los Canadienses (https://canadians.org/waterpolicy) se han opuesto a esta medida. Dada la inminente amenaza a las futuras políticas sobre agua, es fundamental que Canadá lleve a cabo trabajos de remozamiento y mantenga un sólido programa de investigación de agua que fortalezca las buenas políticas para este efecto.

Bibliografía

Alexander, A., Chambers, P., and Jeffries, D. (2017). Episodic acidification of 5 rivers in Canada's oil sands during snowmelt: A 25-year record. *Sci. Tot. Environ.* 599–600, pp. 739–749.

Auditor General of Canada (2002). Abandoned mines of the North. Chapter 3 in: *2002 October Report of the Commissioner of the Environment and Sustainable Development.* www.oag-bvg.gc.ca/internet/English/parl_cesd_200210_03_e_12409.html

Bakker, K. (ed.). (2007). *Eau Canada: The Future of Canadas Water.* Vancouver: University of British Columbia Press. 417 pp. ISBN-13: 978-0-48-1339-6

Bakker, K. and Cook, C. (2011). Water Governance in Canada: Innovation and Fragmentation. *International Journal of Water Resources Development,* 27(2), pp. 275-289. DOI: 10.1080/07900627.2011.564969

Blais, J. M., Schindler, D.W., Muir, D.C.G., Kimpe, L.E., Donald, D.B., and Rosenberg, B. (1998). Accumulation of persistent organochlorine compounds in mountains of western Canada. *Nature* 395(6702), pp. 585-588.

Blais, J.M., Schindler, D.W., Muir, D.C.G., Sharp, M., Donald, D., Lafreniere, M., Braekevelt, E., Comba, M. and Backus, S. (2001). Glaciers are a dominant source of persistent organochlorines to a subalpine lake in Banff National Park, Canada. *Ambio* 30, pp. 410-415. DOI: 10.1579/0044-7447-30.7.410

Blight, G.E. and Fourie, A. B. (2005). Catastrophe revisited – disastrous flow failures of mine and municipal solid waste. *Geotechnical and Geological Engineering* 23, pp. 219–248. DOI: 10.1007/s10706-004-7067-y

Bodaly, R.A, Hecky, R.E. and Fudge, R.J.P. (1984). Increases in Fish Mercury Levels in Lakes Flooded by the Churchill River Diversion, Northern Manitoba. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41(4), pp. 682-691, https://doi.org/10.1139/f84-079

Booth, L. and Quinn, F. (1995). Twenty-five years of the Canada Water Act. *Canadian Water Resources Journal,* 20:2, pp. 65-90, DOI: 10.4296/cwrj2002065.

Boyd, D. (2003). *Unnatural law: Rethinking Canadian Environmental Law and Policy.* Vancouver: UBC Press. 488 pp.

Brooymans, H. (2011). *Water in Canada: A Resource in Crisis.* Edmonton: Lone Pine Publishers. 232 pp. ISBN 978-1-926736-04-4.

Calder, R. *et al*. (2016). Future Impacts of Hydroelectric Power Development on Methylmercury Exposures of Canadian Indigenous Communities. *Environ. Sci. Technol.* 50 (23), pp. 13115-13122. DOI: 10.1021/acs.est.6b04447.

Campbell, L. M., Schindler, D.W., Muir, D.C., Donald, D.B., and Kidd, K.A. (2000). Organochlorine transfer in the food web of subalpine Bow Lake, Banff National Park. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57(6), pp. 1258-1269.

Canadian Research and Development (1970). *We Hung Phosphates without a Fair Trial.* Toronto: Maclean Hunter Publishers.

Chambers, P.A. *et al*. (2001). *Nutrients and their impact on the Canadian environment.* Environment Canada. 241 pp. http://publications.gc.ca/pub?id=9.648087&sl=0 .

Chetelat, J. *et al*. (2015). Mercury in freshwater ecosystems of the Canadian Arctic: Recent advances on its cycling and fate. *Science of the Total Environment* 509–510, pp. 41–66

Cooke, C. *et al*. (2016). Initial environmental impacts of the Obed Mountain coal mine process water spill into the Athabasca River (Alberta, Canada). *Sci. Tot. Environ*, 557-558, pp. 502-509.

Demers, M.J., Kelly, E.N., Blais, J.M., Pick, F.R., St. Louis, V.L. and Schindler, D.W. (2007). Accumulation of persistent organic pollutants in trout from lakes spanning a 1600-meter elevation gradient in the Canadian Rocky Mountains. *Environ. Sci.Technol*. 41, pp. 2723-2729. DOI: 10.1021/es062428p

Dise, N. B., Ashmore, M., Belyazid, S., Bleeker, A., Bobbink, R., De Vries, W. (2011). Nitrogen as a threat to European terrestrial biodiversity. In: *The European Nitrogen Assessment. Sources, effects and policy perspective.* Cambridge: Cambridge University Press.

Donald D. *et al*. (1999). Delayed deposition of organochlorine pesticides at a temperate glacier. *Environ. Sci. Technol.* 33, pp. 1794-1798

Dove, S. C. and Chapra, S. (2015). Long-term trends of nutrients and trophic response variables for the Great Lakes. *Limnol. Oceanogr*. 60, pp. 696–721. doi:10.1002/lno.10055

Ebele, A.J., Abdallah, A-E. and StuartHarrad, M. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants* 3(1), pp. 1-16. https://doi.org/10.1016

Falconer, I.R. (2006). Are endocrine disrupting compounds a health risk in drinking water? *Int J Environ Res Public Health.* 3(2), pp. 180-4.

Fitzgerald, W.F. *et al*. (2005). Modern and Historic Atmospheric Mercury Fluxes in Northern Alaska: Global Sources and Arctic Depletion. *Environ. Sci. Technol.* 39 (2), pp. 557-568.

Frank, R.A., *et al*. (2014). Profiling Oil Sands Mixtures from Industrial Developments and Natural Groundwaters for Source Identification. *Environ. Sci. Technol.* 48 (5), pp. 2660–2670. DOI: 10.1021/es500131k

Gorham, E., Gordon, A.G. (1960). The influence of smelter fumes upon the chemical composition of lakes near Sudbury, Ontario, and upon the surrounding vegetation. *Canadian Journal of Botany* 38, pp. 477-497.

Hayes, F.R. (1973). *The Chaining of Prometheus: Evolution of a Power Structure for Canadian Science.* Toronto: University of Toronto Press. 238 pp.

Hebert, C.E. *et al*. (2013). Mercury trends in colonial waterbird eggs downstream of the oil sands region of Alberta, Canada. *Environ. Sci. Technol.* 47(20), pp. 11785-92. doi: 10.1021/es402542w

Hecky, R. *et al*. (2004). The nearshore phosphorus shunt: a consequence of ecosystem engineering by dreissenids in the Laurentian Great Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61, pp. 1285–1293.

Higgins, S.N., Paterson, M.J., Hecky, R.E., Schindler, D.W., Venkiteswaren, J.J., and Findlay, D.L. (2017). Biological nitrogen fixation prevents the response of a eutrophic lake to reduced loading of nitrogen: Evidence from a 46-year whole-lake experiment. *Ecosystems* 21 (6), pp. 1088–1100. https://doi.org/10.1007/s10021-017-0204-2

Hrudey, S. and E. Hrudey (2004). *Safe Drinking Water: Lessons from Recent Outbreaks in Affluent Nations.* London: IWA Publishing Alliance House.

International Joint Commission (1969). *Pollution of Lake Erie, Lake Ontario and the International Sectlon of the St. Lawrence River. A Report to the IJC by the International Lake Erie Water Pollution Board and the International Lake Ontario-St. Lawrence River Water Pollution Board.* 3 volumes.

Jeffries, D.S. *et al*. (2003). Assessing the recovery of lakes in southeastern Canada from the effects of acid rain. *Ambio* 32, pp. 176-182.

Jeziorski, A., Yan, N.D., Paterson, A.M., DeSellas, A.M., Turner, M.A., Jeffries, D.S., Keller, B., Weeber, R.C., McNicol, D.K., Palmer, M.E., McIver, K., Arseneau, K., Ginn, B.K., Cumming, B.F., and Smol, J.P. (2008). The widespread threat of calcium decline in fresh waters. *Science* 322, pp. 1374-1377.

Jones, D. (1987). *Empire of Dust: Settling and Abandoning the Prairie Dry Belt.* Lincoln: University of Nebraska Press. 334pp. ISBN-10: 0888641206. http://www.googlesightseeing.com/2011/06/ghost-towns-of-the-palliser-triangle/

Kelly, C. A. *et al*. (1997). Increases in fluxes of greenhouse gases and methyl mercury following flooding of an experimental reservoir. *Environ. Sci. Technol.* 31, pp. 1334–44.

Kelly, E.N. *et al*. (2006). Forest fire increases mercury accumulation by fishes via food web restructuring and increased mercury inputs. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 103, pp. 19380-19385.

Kelly, E.N., Short, J.W., Schindler, D.W., Hodson, P.V., Ma, M., Kwan, A. and Fortin, B.L. (2009). Oil sands development contributes polycyclic aromatic compounds to the Athabasca River and its tributaries. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 106, pp. 22346-22351.

Kelly, E.N.; Schindler, D.W.; Hodson, P.V.; Short, J.W.; Radmanovich, R.; and Nielsen, C. (2010). Oil sands development contributes elements toxic at low concentrations to the Athabasca River and its tributaries. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 107, pp. 16178–16183.

Kidd, K.A., Hesslein, R.H., Fudge, R.J.P. and Hallard, K.A. (1995). The influence of trophic level as measured by δ15N on mercury concentrations in freshwater organisms. *Water, Air, Soil Pollut.* 80, pp. 1011-1015.

Kidd, K.A., Blanchfield, P.J., Mills, K.H., Palace, V.P., Evans, R.E., Lazorchak, J.M., and Flick, R.W. (2007). Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 104, pp. 8897-8901.

Kidd, K.A., Paterson, M.J., Rennie, M.D., Podemski, C.L., Findlay, D.L., Blanchfield, P.J., and Liber, K. (2014). Direct and indirect responses of a freshwater food web to a potent synthetic oestrogen. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 369, 20130578. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0578

Lewis, W.M. Jr. and Wurtsbaugh, W.A. (2008).Control of lacustrine phytoplankton by nutrients: Erosion of the phosphorus paradigm. *Int. Rev. Hydrobiol.* 93, pp. 446–465

Mackasay, W.O. (2000). *Abandoned mines in Canada. Prepared for Mining Watch Canada.* 11 pp. https://miningwatch.ca/sites/default/files/mackasey_abandoned_mines.pdf

Michalak, A.M., Anderson, E.J., Beletsky, D., Boland, S., Bosch, N.S., Bridgeman, T. B., Chaffin, J.D., Cho, K., Confesor, R., Daloglu, I.; *et al*. (2013). Record-setting algal bloom in Lake Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 110, pp. 6243–6244.

Muir, D.C.G., Fairchild, W.L. and Whittle, D.M. (1992). Predicting bioaccumulation of chlorinated dioxins and furans in fish near Canadian bleached kraft mills. *Water Quality Research Journal* (1992) 27 (3): 487-508. https://doi.org/10.2166/wqrj.1992.033

Muir, D., and DeWitt, C. (2010). Trends of legacy and new persistent organic pollutants in the circumpolar arctic: overview, conclusions, and recommendations. *Sci. Tot. Environ.* 408(15), pp. 3044-51. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.11.032.

Munthe, J, Bodaly, R. A., Branfireun, B. A., Driscoll, C. T., Gilmour, C. C., Harris, R., Horvat, M., Lucotte, M., and Malm, O. (2007). Recovery of mercury-contaminated fisheries. *Ambio* 36, pp. 33-44.

National Academy of Sciences USA. (1969). *Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives.* Washington, D.C.: National Academy Press.

Orihel, D. M. and 6 others. (2017). Internal phosphorus loading in Canadian fresh waters: a critical review and data analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 74, pp. 2005–2029 (2017) dx.doi.org/10.1139/cjfas-2016-0500

Pagnucco, K. and 5 others. (2015). The future of species invasions in the Great Lakes-St. Lawrence River basin. *J. Great Lakes Res.* 41 (Supplement 1), pp. 96-107

Parajulee, A., and Wania, F. (2015). Evaluating officially reported polycyclic aromatic hydrocarbon emissions in the Athabasca oil sands region with a multimedia fate model. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 111 (9), pp. 3344-3349; https://doi.org/10.1073/pnas.1319780111

Parks, J.W. and Hamilton, A.L. (1987). Accelerating the recovery of a mercury contaminated river system. *Hydrobiologia* 149, pp. 159-188.

Paterson, M. J., Schindler, D. W., Hecky, R. E., Findlay, D. L., and Rondeau, K. J. (2011). Comment: Lake 227 shows clearly that controlling inputs of nitrogen will not reduce or prevent eutrophication of lakes. *Limnol. Oceanogr.* 56, pp. 1545-1547.

Pearse, P., Bertrand, F. and MacLaren, J. (1986). Currents of Change: Final Report, Inquiry on Federal Water Policy, Canada. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 28:10, pp. 25-27, Ottawa. DOI: 10.1080/00139157.1986.9928838 .

Pearse, P., and Quinn, F. (1996). Recent developments in federal water policy: One step forward, two steps back. *Canadian Water Resources Journal* 21(4), pp. 329-340, DOI: 10.4296/cwrj2104329.

Peterson, H. *et al*. (2007). Development of Effective Drinking Water Treatment Processes for Small Communities with Extremely Poor-Quality Water on the Canadian Prairie. *Soc. Can. Env. Biol.* 64(1), pp. 28-35.

Quinn. F. (1985). The Evolution of Federal Water Policy. *Canadian Water Resources Journal* 10(4), pp. 21-33. DOI: 10.4296/cwrj1004021

Radmanowich, R. (2012). *Mercury in the lower Athabasca River and its watershed.* M.Sc. thesis. Edmonton: University of Alberta. 123 pp.

Rosenberg, D.M., Bodaly, R.A. and Usher, P.J. (1995). Environmental and social impacts of large-scale hydroelectric development: who is listening? *Global Environmental Change* 5 (2), pp. 127-148.

Rudd, J. W. M., Kelly, C. A., Schindler, D. W. and Turner, M. A. (1988). Disruption of the nitrogen cycle in acidified lakes. *Science* (Wash., DC) 240, pp. 1515-1517.

Rudd, J. W. M., Kelly, C. A., Schindler, D. W. and Turner, M. A. (1990). A comparison of the acidification efficiencies of nitric and sulfuric acids by two whole-lake addition experiments. *Limnol. Oceanogr.* 35, pp. 663-679.

Rudd, J., Harris, R., Kelly, C., Sellers, P., and Townsend, B. (2017). *Proposal to Clean-Up (Remediate) Mercury Pollution in the English-Wabigoon River.* 10.13140/RG.2.2.28734.08004.

Rudd, J.W.M., and Turner, M. A. (1983). The English-Wabigoon River system: II. Suppression of mercury and selenium bioaccumulation by

suspended and bottom sediments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40, pp. 2218-2227.

Schetagne, R, Therrien, J, and Lalumiere, R. (2003). *Environmental monitoring at the La Grande complex. Evolution of fish mercury levels. Summary report 1978-2000.* Direction Barrages et Environnement, Hydro-Québec Production and Groupe conseil GENIVAR Inc., 185 pp. and Appendices.

Schindler, D.W. (1974). Eutrophication and recovery in experimental lakes: Implications for lake management. *Science* (Wash., DC) 184, pp. 897-899.

Schindler, D. W. (1977). Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science* 195, pp. 260–262.

Schindler, D.W. (2012). The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proc. R. Soc. B.* 279, pp. 4322–4333.

Schindler, D.W. (2013). *Geoscience of Climate and Energy* 12.

Water Quality Issues in the Oil Sands Region of the Lower Athabasca River, Alberta. *Geosciences Canada* 40(3), http://dx.doi.org/10.12789/geocanj.2013.40.012

Schindler, D.W. (2018). Will Canada's Future be Dammed? Site C could be the tip of the iceberg. Ch 2 in Holm, W. (ed.). *Damming the Peace: The Hidden Costs of the Site C Dam.* Toronto: James Lorimer and Company.

Schindler, D.W., Brunskill, G.J., Emerson, S., Broecker, W.S., and Peng, T-H. (1972). Atmospheric carbon dioxide: Its role in maintaining phytoplankton standing crops. *Science* 177(4055), pp. 1192-1194. https://doi.org/10.1126/science.177.4055.1192

Schindler, D.W. *et al*. (1981). *Atmosphere-Biosphere Interactions: Toward a Better Understanding of the Ecological Consequences of Fossil Fuel Burning.* Washington, D. C.: National Academy Press. 263 pp.

Schindler, D.W., Mills, K.H., Malley, D.F., Findlay, D.L., Shearer, J.A., Davies, I.J., Turner, M.A., Linsey, G.A., and Cruikshank, D.R. (1985). Long-term ecosystem stress: the effects of years of experimental acidification on a small lake. *Science* 228, pp.1395-1401.

Schindler, D.W., Hecky, R.E., Findlay, D.L., Stainton, M.P., Parker, B.R., Paterson, M.J., Beaty, K.G., Lyng, M., and Kasian, S.E. (2008). Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 105, pp. 11254-11258.

Schindler, D.W., Hecky, R.E., and McCullough, G. K. (2012). The rapid eutrophication of Lake Winnipeg: Greening under global change. *J. Gt. Lakes Res.* 38, pp. 6-13. https://doi.org/10.1016/j.jglr.2012.04.003

Schindler, D.W., Carpenter, S.R., Chapra, S.C., Hecky, R.E., and Orihel, D.M. (2016). Reducing phosphorus to control eutrophication is a success. *Environ. Sci. Technol.* 50(22), pp. 12421-12428.

Scott, J. T., and McCarthy, M. J. (2010). Nitrogen fixation may not balance the nitrogen pool in lakes over timescales relevant to eutrophication management. *Limnol. Oceanogr.* 55, pp. 1265–1270.

Sprague, J. (2007). Great Wet North? Canada's Myth of Water Abundance. Ch 2 in Bakker, K (ed.) *Eau Canada: The Future of Canada's Water.* Vancouver: UBC Press. 415 pp.

Swanson, H.K., T.A. Johnston, D.W. Schindler, R.A. Bodaly and D.M. Whittle. (2006). Mercury bioaccumulation in forage fish communities invaded by rainbow smelt (*Osmerus mordax*). *Environ. Sci. Technol.* 40, pp. 1439-1446.

Takaoka, S. *et al*. (2014), Signs and symptoms of methylmercury contamination in a First Nations community in Northwestern Ontario, Canada. *Sci. Tot. Environ.* 468-469, pp. 950-957. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.09.015.

Vitousek, P., Porder, S., Houlton, B., and Chadwick, O. (2010). Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen–phosphorus interactions. *Ecological Applications* 20, pp. 5-15.

Vollenweider, R. (1968). *Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication.* Paris: OECD Tech. Rep. DAS/CS/68.27.

Wania, F. and Mackay, D. (1995). A global distribution model for persistent organic chemicals. *Science of the Total Environment* 160, pp. 211-232.

Watmough, S., *et al*. (2005). Sulphate, Nitrogen and Base Cation Budgets at 21 Forested Catchments in Canada, the United States and Europe. *Environ. Monit. Assess.* 50 (22), pp. 12421-12428. DOI: 10.1007/s10661-005-4336

Whitfield, C. and Watmough, S. (2012). A regional approach for mineral soil weathering estimation and critical load assessment in boreal Saskatchewan, Canada. *Sci. Tot. Environ.* 437, pp. 165-72.

Agua y Energía

La **energía** es uno de los insumos más importantes en el suministro de agua potable y saneamiento. El agua ha de cosecharse, bombearse, transportarse, filtrarse, almacenarse y volverse a bombear. Es necesario construir presas y embalses, y colocar y mantener las tuberías. La purificación, desalinización y el bombeo del agua son operaciones que consumen mucha energía, por lo que si se hace necesario que más países tengan que desarrollar plantas de desalinización, ósmosis inversa y descontaminación para aumentar la disponibilidad de agua potable, o acceder a recursos hídricos que se encuentran más alejados y transportarlos mayores distancias, el costo de la energía continuará aumentando. Así, pues, la **seguridad energética** está vinculada a los problemas, soluciones y opciones relacionadas con la **gestión sostenible del agua**.

Calidad del agua y vínculos de la energía alternativa en las Américas

Kwame Emmanuel y Anthony Clayton

Reconocimientos

Este capítulo resume las aportaciones de varios académicos e investigadores de la región. En particular, nos gustaría reconocer el trabajo de la Dra. Judith Franco, del Instituto de Investigación en Energía No Convencional de la Universidad Nacional de Salta, Argentina; del Dr. Claudio Wheelock, Director de la Estación Solar; del Dr. Julio López de la Fuente, SJ de la Universidad Centroamericana, y de Erick Sandoval del Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales de la Universidad de Centroamérica, en Nicaragua; del Ing. Roberto Castello Tió en la República Dominicana; del Dr. Melio Sáenz y del Dr. Felipe Cisneros del Programa PROMAS para el Manejo del Agua y el Suelo en la Universidad de Cuenca, y del Dr. Ricardo Izurieta de la Academia Nacional de Ciencias de Quito, en Ecuador; del Dr. José María Rincón-Martínez, Director de Investigación de Corpoema e Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, y de Diana Marcela Durán-Hernández en Colombia; del Dr. Juan Rodríguez de la Universidad Nacional de Perú; y de la Dra. Mireya R. Goldwasser, del Centro de Catálisis de la Universidad Central de Venezuela. También nos gustaría reconocer la invaluable colaboración de Julián Despradel, Coordinador del Programa de Energía en la República Dominicana, quien recopiló la información presentada en este trabajo.

Introducción

El acceso a suministros adecuados de agua limpia es de vital importancia para todas las iniciativas y metas humanas –entre ellas, el desarrollo sostenible– y ahora se define como un derecho humano básico. El tratamiento adecuado, la recuperación, la reutilización y la eliminación de las aguas residuales también son de vital importancia, ya que el fracaso en este sentido genera una serie de consecuencias; la descarga de residuos no tratados puede contaminar las aguas subterráneas y superficiales, y ocasionar graves daños en el suministro de agua potable y la integridad del ecosistema. El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 establece que el agua potable y el saneamiento son esenciales para la salud humana, la sostenibilidad del medio ambiente y la prosperidad económica. Ha habido grandes logros en

Kwame Emanuel kwamepe@hotmail.com Profesor Asociado, Centre for Environmental Management, The University of the West Indies, Mona Campus, Jamaica. **Anthony Clayton** anthony.clayton@uwimona.edu.jm Institute for Sustainable Development, University of the West Indies Mona Campus, Kingston, Jamaica. **Claudio Estrada** cestrada@ier.unam.mx Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México y **Antonio E. Jimenez**. Con la contribución especial de **Julián Despradel** (República Dominicana), **Judith Franco** (Argentina), **José María Rincón-Martínez** (Colombia), **Diana Marcela Durán-Hernández** (Colombia), **Melio Sáenz** (Ecuador), **Felipe Cisneros** (Ecuador), **Claudio Wheelock** (Nicaragua), **Julio López de la Fuente** (Nicaragua), **Erick Sandoval** (Nicaragua), **Juan Rodríguez** (Perú), **Roberto Castello Tió** (República Dominicana) y **Mireya R. Goldwasser** (Venezuela).

esta área y se ha logrado suministrar agua potable a millones de personas, pero actualmente algunos de estos logros ahora se ven amenazados por la combinación del crecimiento demográfico y el cambio climático, lo que ha puesto el suministro de agua de algunas regiones en un peligro jamás antes visto.

Es por esta razón que se requieren avances sustanciales en el área. Si la expansión de mejores sistemas para el suministro y la utilización del agua no es capaz de mantenerse a la par del crecimiento demográfico, probablemente se experimente una disminución en los suministros de agua per cápita. Del mismo modo, si los sistemas de suministro de agua no se adaptan a los cambiantes patrones climáticos asociados con el cambio climático, es probable que muchas partes del mundo sufran escasez de agua en un futuro. Por eso, sin un avance sustancial en estas áreas, avanzar hacia los otros ODS se volverá cada vez más difícil, si no es que imposible.

La energía es uno de los insumos más importantes en el suministro de agua potable y saneamiento. El agua ha de cosecharse, bombearse, transportarse, filtrarse, almacenarse y volverse a bombear. Es necesario construir presas y embalses, y colocar y mantener las tuberías. La purificación, desalinización y el bombeo del agua son operaciones que consumen mucha energía, por lo que si se hace necesario que más países tengan que desarrollar plantas de desalinización, ósmosis inversa y descontaminación para aumentar la disponibilidad de agua potable, o acceder a recursos hídricos que se encuentran más alejados y transportarlos mayores distancias, el costo de la energía continuará aumentando. Así, pues, la seguridad energética y los objetivos del ODS 7 (acceso a energía accesible, confiable, sostenible y moderna para todos) están vinculados a los problemas, soluciones y opciones relacionadas con la gestión sostenible del agua. Si un país toma la decisión política de suministrar agua corriente a todos los consumidores, el costo de la energía sería considerablemente más alto –ya que hay que bombear agua a los consumidores que pudieran encontrarse cuesta arriba de los embalses– que si el país decidiera recolectar las aguas pluviales y aprovechar los manantiales locales. Un sistema de agua que consume mucha energía también es menos resistente que un sistema que da prioridad a los recursos locales; si falla el sistema eléctrico, también fallará el sistema hidráulico.

El sector energético también enfrenta una serie de serios desafíos, que incluyen la dependencia en los inestables regímenes de exportación de petróleo, los fluctuantes precios del petróleo, los altos costos ambientales y las graves implicaciones para el cambio climático. Por ende, un sistema de suministro de agua que consume mucha energía conecta dos tipos diversos de desafíos, lo que aumenta considerablemente la probabilidad de producir un menoscabo.

La Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS, por sus siglas en inglés) ha venido explorando el desarrollo de un planteamiento de colaboración en las Américas para atender conjuntamente los problemas de energía y agua. Dado que las decisiones políticas sobre éstas comprenden una serie de consecuencias cruzadas, un enfoque conjunto para encontrar soluciones a los problemas de suministro de agua y energía de forma simultánea tiene más probabilidades de culminar en acuerdos viables por tiempo indeterminado que podrán funcionar eficazmente en un grupo de circunstancias más amplio. Éste es, por tanto, un problema de optimización multidimensional, donde es necesario desarrollar soluciones que funcionen en diferentes dimensiones al mismo tiempo. Ello también permite que las soluciones propuestas se sometan a pruebas de estrés en escenarios más realistas, como, por ejemplo, ¿qué sucederá con el suministro de agua si falla la red eléctrica?

Por lo tanto, IANAS está trazando los caminos de transición del estado existente a un futuro más sostenible para la relación entre el agua y la energía.

El resto de este capítulo resume las presentaciones de expertos regionales de todas las Américas sobre varios aspectos de esta relación, incluido el uso de energía alternativa para el tratamiento de agua salada, salobre y agua dulce contaminada, así como la gestión de aguas residuales en las Américas. El objetivo se centró en determinar el grado de conocimientos y experiencia profesional con que se cuenta acerca de la relación entre energía y agua en las Américas. Esto implicó estudiar una serie de ejemplos de buenas prácticas emergentes, entre las cuales se encuentra el uso de fuentes de ener-

gía alternativas bajas en carbono para la gestión y tratamiento del agua. La atención se centró en dar seguimiento al desarrollo de tecnologías desde la investigación hasta el desarrollo comercial, con especial atención en las soluciones prácticas o cercanas al mercado.

Calidad del agua

El agua para uso primario debe cumplir con estrictos estándares de calidad microbiológica y química con la finalidad de prevenir enfermedades transmitidas por el agua y riesgos para la salud, como por ejemplo, químicos tóxicos. El agua del producto final debe ser química y microbiológicamente segura para el consumo humano, y apto para otros fines, como el uso industrial. Para el consumo doméstico, el agua también debe estar libre de sabores y olores desagradables y, en algunos casos, mejorada para fines de salud humana, a través de la fluorización u otra mineralización. Con respecto a las aguas residuales, el propósito del tratamiento es transformar el producto de desecho primario en algo que sea lo suficientemente limpio como para desecharse en el medio ambiente natural sin efectos nocivos, o para utilizarse con fines secundarios, como el riego o la reposición de aguas subterráneas. El objetivo del tratamiento de aguas residuales es eliminar los patógenos y eliminar los componentes orgánicos e inorgánicos y, en algunas ocasiones, reducir la contaminación estética, como los agentes que pudieran decolorar el agua. Esto se logra al pasar el agua a través de diversos procesos físicos, químicos y biológicos.

Las Américas

Las Américas comprende dos continentes y un muy variado grupo de países. Es la región con mayor abundancia de agua en el mundo, en donde Sudamérica posee casi 31% de los recursos totales de agua dulce del mundo. Sin embargo, las amenazas a la calidad del agua plantean enormes desafíos a la región, lo que repercute de forma negativa en el volumen de agua potable que realmente puede suministrarse a su población. Los problemas incluyen la intrusión salina de acuíferos costeros causada por la extracción excesiva, como es el caso de Jamaica y Barbados, que se verá agravado por el aumento del nivel del mar; las malas prácticas de uso de la tierra y la degradación de las cuencas hidrográficas originada por la sedimentación de fuentes de agua cruda; la contaminación por arsénico de las aguas subterráneas en países como Argentina, Ecuador y México; los altos niveles de la bacteria *Escherichia coli*, por ejemplo en Nicaragua; y el alto contenido de hierro coloidal y la contaminación ocasionada por los sectores agrícola e industrial de Ecuador. En el caso de la República Dominicana, uno de los problemas más graves es la contaminación de los acuíferos y las fuentes de agua por descargas agrícolas, por ejemplo, de la cría de ganado (tales como cerdos y vacas) y los mataderos. También existen problemas respecto a los microplásticos en las aguas residuales y las fuentes de agua de Panamá, y la contaminación por glifosato en Colombia. En México, la desconfianza generalizada en la calidad del agua corriente ha hecho que el país sea el mayor consumidor per cápita de agua embotellada a nivel mundial, lo que significa que cada año se desechan millones de botellas de plástico en México (Flores-Díaz *et al.*, 2018). Estos problemas, que se derivan de fallas de gestión o deficiencias técnicas, harán difícil que muchos países de la región cumplan con los objetivos del ODS 6, que incluye el acceso universal a agua segura y a una mejor calidad del agua mediante la reducción de la contaminación.

Así, pues, hay una serie de factores que distinguen la problemática situación de la calidad del agua en la región. El caso de la pequeña isla caribeña de Grenada, como describieron Mitchell *et al.* (2018), ejemplifica algunos de los desafíos. Los factores ahí mencionados incluyen los siguientes:

- Falta de financiamiento para el mantenimiento y ampliación de las plantas de tratamiento;
- La ausencia de regulaciones de zonificación, que afecta negativamente el manejo de las cuencas hidrográficas y la calidad del agua;
- Monitoreo y análisis de la calidad del agua poco frecuente, debido a la falta de recursos legales, técnicos y financieros;
- Falta de tratamientos secundarios o terciarios de las aguas residuales, así como infraestructuras deficientes de eliminación de desechos;
- Poca participación de la comunidad en la gestión de la calidad del agua; y

- Un marco institucional inadecuado que no es capaz de realizar una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

Muchos de éstos y otros problemas muy parecidos se pueden apreciar en otros países de la región.

Otros factores que influyen en la calidad del agua en las Américas incluyen los siguientes:

- Una combinación de crecimiento demográfico y económico que aumenta la demanda de agua y energía, así como la generación de residuos y la contaminación, lo que crea problemas para la gestión de la calidad del agua;
- Urbanización rápida y mal planificada, con muchos asentamientos informales, que afecta de forma negativa la gestión de las cuencas hidrográficas;
- Una enorme disparidad en la cobertura de agua y saneamiento entre ricos y pobres, en algunos países como Argentina;
- Poco o nulo cumplimiento de los estándares de calidad del agua, y una completa falta de estándares con respecto a una serie de contaminantes; y
- Un patrón común de inversiones en infraestructura de suministro de agua, pero que presta poca atención a la necesidad de invertir en la gestión de aguas residuales.
- Las condiciones geológicas también plantean importantes desafíos para la gestión del agua en algunos países. Por ejemplo, los administradores de los recursos hídricos en México deben luchar contra la contaminación por arsénico y fluoruro derivada de procesos geoquímicos naturales, en tanto que el arsénico es un producto residual de las actividades mineras en Ecuador.

Esta compleja serie de desafíos destaca la necesidad de un enfoque integral e integrado para la gestión de la calidad del agua, incluida una mejor gestión y cumplimiento, y el desarrollo de soluciones tecnológicas más limpias.

Energía alternativa

Existe una relación bidireccional entre los problemas de agua y energía. El agua se utiliza en casi todas las formas de producción de energía, mientras que la energía es un componente fundamental del suministro de agua potable y el tratamiento de aguas residuales. El suministro de agua limpia utiliza una gran cantidad de energía, desde la extracción del pozo hasta el tratamiento (incluida la desalinización) y el bombeo y transporte al consumidor. En muchos de los países del Caribe, las empresas de servicios de agua son, sin lugar a dudas, el principal cliente de las compañías eléctricas. Sin embargo, esto se basa casi por completo en un sistema convencional de suministro de energía derivado del petróleo, que luego empeora el cambio climático con consecuencias potencialmente catastróficas para los países insulares.

En respuesta, el uso de energías no fósiles alternativas (incluidas las renovables y las nucleares) se ha convertido en una estrategia decisiva de mitigación, ya que reduce la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera al mismo tiempo que proporciona la energía necesaria para sustentar el crecimiento económico y demográfico, y contribuye al bienestar y desarrollo social.

El principal objetivo del ODS 7 es garantizar el acceso a una energía accesible, confiable, sostenible y moderna para todos. Por lo tanto, los objetivos para 2030 incluyen aumentar de forma considerable la proporción de energía renovable en la combinación de suministro energético, así como lograr una mayor cooperación internacional para apoyar la investigación, y mayores inversiones en energías más limpias. A nivel mundial, el desarrollo de energía renovable ha superado las proyecciones de los últimos años y es probable que el uso de la tecnología muestre un crecimiento por encima de la tendencia en las próximas décadas (IANAS-IAP 2016), que a la larga desplazará a las fuentes que emiten altos niveles de carbono. En la región, países como Chile, México, Argentina, Cuba y Venezuela han integrado con éxito las energías renovables en su cartera energética. Venezuela es un caso interesante, ya que el país cuenta con algunas de las reservas de petróleo más grandes del mundo, pero depende más de la energía hidroeléctrica, con el río Caroní y su afluente, el río Paragua, que suministran 72% de la electricidad del país (González Rivas *et al.,* 2019). Venezuela actualmente sufre un serio desequilibrio en su sector energético, aunque esto es un problema de gobernabilidad, no de disponibilidad de recursos.

Energía y tratamiento de agua

Aquí se presentan estudios de caso de nueve países de la región que ahora utilizan energía renovable para el tratamiento del agua; cinco en Sudamérica, uno en Centroamérica y tres en el Caribe. Los países son Argentina, Colombia, Ecuador, Nicaragua, Perú, Venezuela, Santa Lucía, Barbados y Jamaica.

Argentina

Franco (s/f) describe el uso de alambiques solares para producir agua dulce sin energía eléctrica o mecánica. La tecnología, que simula un invernadero, se compone de dos componentes principales: un tanque o colector y su cubierta. El tanque es donde se almacena el agua contaminada a tratar. Sobre ella se fija, en ángulo, una cubierta transparente que puede estar hecha de plástico o vidrio. La cubierta tiene dos funciones: aumentar la temperatura y recolectar la condensación. El proceso de tratamiento se activa por la radiación solar que pasa a través de la cubierta, dando lugar a la evaporación del agua. Posteriormente, la condensación se produce debajo de la cubierta y las gotas de agua dulce se transportan a través de canaletas a un depósito de almacenamiento.

El Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO) de la Universidad Nacional de Salta ha desarrollado alambiques solares modulares y transportables que se pueden ensamblar en unas cuantas horas. Estos alambiques solares se han instalado en varias comunidades de la provincia de Salta para tratar el agua contaminada con arsénico, producir agua destilada y desalinizarla. Franco (s/f) llegó a la conclusión de que la tecnología es adecuada para áreas poco pobladas y aisladas cuyo acceso a fuentes de energía y agua potable es limitado.

Colombia

Rincón-Martínez y Durán-Hernández (s/f) informaron que se ha instalado la desalinización eólica en la árida Península de Guajira, donde el cambio climático está actualmente agravando la crisis de escasez de agua. El aero-desalinizador –inventado por el ingeniero Juan Carlos Borrero– es un dispositivo que conecta una turbina eólica a la infraestructura de extracción de agua de pozos. La tecnología extrae agua salina de los pozos y la transporta a una serie de filtros y membranas con iones de cobre y plata para la eliminación de patógenos. Se utiliza un proceso de ósmosis inversa para producir agua potable. Las ventajas del sistema incluyen bajos costos de operación, ya que el precio por galón es 20 a 30% más bajo que las alternativas de diésel o solares, y no se requiere una fuente de alimentación externa ni tratamientos químicos. Actualmente hay cinco aero-desalinizadores que operan en la región de Guajira y un contrato firmado por el Gobierno con Juan Carlos Borrero para instalar otros 40. Rincón-Martínez y Durán-Hernández (s/f) también hicieron referencia al trabajo de los estudiantes de ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia que desarrollaron un prototipo de desalinizador solar hecho de materiales reciclables.[1] El prototipo genera medio litro de agua por hora utilizando 7 kilovatios de energía recolectada de la exposición solar en La Guajira. El objetivo de este ejercicio era resolver el problema de la escasez de agua en esta región. El aparato cuenta con dos componentes principales: el foco (o concentrador de energía) y la parábola, y el proceso se basa en los principios de la óptica refractiva y la reflexión cóncava para calentar el agua salina. Después de la evaporación y separación de la sal y otros componentes no deseados, el vapor se enfría en el condensador y se recolectan las gotas de agua dulce. La comunidad indígena de La Guajira ahora puede replicar el modelo utilizando materiales de fácil acceso y ser directamente responsable de administrar su suministro de agua.

Ecuador

Sáenz *et al.* (s/f) exploraron el uso de la desinfección solar de agua (SODIS) como parte de un proyecto de investigación comunitario en el pueblo de La Concordia. SODIS es un proceso de bajo costo para tratar el agua potable con rayos ultravioleta y calor del sol para eliminar patógenos. El método no es 100% eficaz para eliminar patógenos, especialmente en aguas altamente turbias, pero los estudios han demostrado su eficacia para reducir la prevalencia de enfermedades como la diarrea. Durante la realización del proyecto, se realizó un análisis microbiológico antes y después de la exposición

1. http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/desalinizador-solar-purifica-agua-en-la-guajira.html

a la luz solar y los resultados confirmaron la eficacia del método SODIS en el tratamiento del agua. SODIS también se considera una opción viable de gestión de desastres para la desinfección y es mejor que la cloración y la ebullición, ya que la cloración altera el sabor y la ebullición requiere energía. Por consiguiente, SODIS se considera un método de tratamiento sostenible y económico que no requiere energía eléctrica.

Un taller realizado por el Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Ambiental en 2001, en Quito, también demostró la eficacia del método SODIS para desinfectar el agua entubada de la comunidad Amaguana y el agua no entubada del río San Pedro (Sáenz *et al.*, s/f). Después de haber expuesto a la luz solar algunas botellas de plástico llenas con dos muestras de agua, se analizó el agua para determinar la presencia de coliformes fecales. El primer grupo de cuatro botellas con agua entubada que se expuso a la luz solar mostró 51 FCU/100 ml antes de la exposición y 0 FCU/100 ml después de ésta. El segundo grupo de botellas con agua no entubada mostró 284 FCU antes de la exposición a la luz solar y 0 FCU después de la exposición, con excepción de una botella que mostró 1 FCU.

Nicaragua

Sandoval (s/f) dio a conocer el uso de un sistema fotovoltaico para purificar las aguas salobres y limpiar los moluscos bivalvos destinados al consumo humano. En este caso, el aparato de purificación de agua convierte la energía solar en energía eléctrica para suministrar luz a una lámpara UV que elimina las bacterias en el agua salobre.

El Instituto de Capacitación, Investigación y Desarrollo Ambiental (CIDEA/UCA) compró el equipo porque le preocupaba la calidad del agua y el elevado costo que supone la conexión a la red eléctrica. El aparato se instaló en la comunidad de Aserradores, en la costa del Pacífico, donde el principal medio de subsistencia es la pesca y la recolección de berberechos de manglares. Se cosechan aproximadamente 3 millones de unidades de berberecho de manglar cada año en los estuarios, lo que lo convierte en el molusco más consumido del país. Desafortunadamente, la seguridad de este manjar se ha visto comprometida por la calidad del agua donde se encuentra. Un estudio realizado en 2007 por el CIDEA reveló que los estuarios del oeste de Nicaragua contenían bacteria *Escherichia coli* por encima de los niveles permisibles.

Los sistemas de purificación de moluscos se han desarrollado extensamente en otros países, pero son pocas las investigaciones que se han realizado sobre la descontaminación del manglar, *Anadara* spp (*Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*). El proceso que se llevó a cabo consta de tres etapas:

1. Filtración del agua salobre para eliminar los sólidos suspendidos que pueden interferir con el tratamiento de luz UV en la etapa 2;
2. Exposición del agua a luz ultravioleta para eliminar las bacterias; y
3. Sumergir los berberechos en agua tratada durante 48 horas para su limpieza.

El sistema utilizado por CIDEA ha demostrado ser eficaz y ahora podría utilizarse más ampliamente para garantizar la seguridad de la industria del berberecho de manglar.

Perú

Rodríguez (s/f) señaló que se han llevado a cabo programas de investigación en la Universidad Nacional de Ingeniería, la Universidad de Lima y la Universidad Nacional de Tumbes sobre el uso de energías renovables para mejorar la calidad del agua. Se han premiado varias patentes. El objetivo principal de la investigación era desarrollar sistemas de purificación de agua que fueran eficaces, fructíferos y fáciles de usar y mantener. Se destacó la necesidad de suministrar agua potable a poblaciones aisladas y rurales con poco acceso a energía, productos químicos y personal técnico.

Las tecnologías se categorizaron de la siguiente manera:

1. Sistemas ópticos para aumentar la eficiencia de la energía solar: Se incluyen entre éstos, los sistemas de desalinización, con procesos de evaporación y condensación de vapor para reducir el contenido de sal, así como sistemas de desinfección solar para tratar el agua en áreas rurales.

2. Sistemas no ópticos: Éstos incluyen sistemas de carbón activado y óxido de titanio para desinfectar zonas de desastre donde el acceso a agua segura es limitado. En el caso del óxido de titanio, cuando se le coloca al sol durante unas cuantas horas, desinfecta el agua de manera más eficaz que la radiación solar sola.

3. Sistemas de electrificación solar: Estos sistemas suministran energía a través de paneles solares para los procesos de descontaminación que requieren una cantidad limitada de energía eléctrica.

Venezuela

La Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales y la Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat (sin fecha) resumió la experiencia venezolana en el uso de energía renovable dirigida a proporcionar agua potable a zonas principalmente remotas y rurales. Si bien Venezuela cuenta con algunas de las reservas de petróleo más grandes del mundo, su combinación energética utiliza aproximadamente 70% de la energía hidroeléctrica con las instalaciones principales, como las plantas de Guri, Caruachi y Macagua, ubicadas en el estado de Bolívar, en la parte sur del país. A pesar del extendido uso de las energías limpias, se ha publicado muy poco material sobre su uso en la purificación del agua.

En 2005, el Gobierno inició el programa Sembrando Luz, que incluía el uso de instalaciones fotovoltaicas y otras soluciones de energía alternativa como la energía eólica en comunidades rurales aisladas. El programa incluyó la instalación de sistemas de purificación y desalinización de agua, así como instalaciones de bombeo para el riego de cultivos utilizando fuentes superficiales y subterráneas.

Otro programa que el gobierno puso en marcha, Siembra de Electricidad, implica la micro-electrificación, el bombeo y el tratamiento para suministrar agua potable a comunidades indígenas en zonas aisladas y fronterizas. El Gobierno también instaló una infraestructura de energía solar para el tratamiento del agua en el islote de Fajardo y está estudiando la posibilidad de incorporar tecnología eólica.

Las universidades venezolanas también han investigado opciones de energía renovable para el tratamiento de agua en zonas rurales. Por ejemplo, la Universidad Simón Bolívar (USB) desarrolló un prototipo de planta de desalinización utilizando humidificación de efectos múltiples y también realizó investigaciones sobre sistemas de energía solar térmica de baja temperatura.

Otra fuente de energía para el suministro de agua potable que se distinguió en el caso de Venezuela es la energía potencial, que se usa comúnmente en el diseño de acueductos. Esta energía se considera una forma de energía renovable, que casi nunca se reconoce. Esta utilización de la gravedad ha dado como resultado un menor consumo de combustibles fósiles y emisiones de dióxido de carbono y se ha traducido en un importante ahorro en costos operativos.

Caribe

El uso de energía alternativa para mejorar la calidad del agua es un concepto relativamente nuevo en el Caribe, según André Quesnel, Director Técnico de Ecohesion, una empresa de infraestructura de agua sostenible con sede en Barbados. Por lo tanto, existen muchas oportunidades de negocios, así como para investigación y desarrollo en el Caribe.

Un pescador de Santa Lucía e inventor autodidacta, Karlis Noel, diseñó y fabricó una unidad de desalinización móvil con energía solar que neutraliza el producto de desecho de salmuera, la primera de su tipo a nivel mundial. El sistema autosuficiente actualmente es de utilidad en la aldea Laborie, de donde proviene el inventor, y la tecnología también se ha exportado a la pequeña isla del Pacífico, la República de Nauru, que hoy día se encuentra muy afectada por la intrusión salina en su suministro de agua subterránea.

Otro ejemplo de energía alternativa en la purificación de agua es el sistema de destilación solar de agua desarrollado por la compañía Sun Fresh Water, con sede en Florida, en colaboración con el Centro para el Diseño y Desarrollo de Ingeniería Avanzada de la Universidad de la Ciudad de Nueva York. La compañía consiguió hace poco dos patentes para su novedoso prototipo de destilación de concentrados que se comercializará principalmente en el Caribe. La unidad escalable es una solución portátil, de bajo mantenimiento y de bajo costo para la producción de agua potable, y es particularmente adecuada para zonas remotas. El sistema de transferencia de calor se puso a prueba en Florida y resultó ser más eficiente energéticamente que la ósmosis inversa. Las mejoras que se planean incluyen la incorporación de la nanotecnología, que se espera aumente la producción de agua dulce a más de 14 litros por metro cuadrado por día.[2] El siguiente paso para Sun Fresh Water será conseguir el financiamiento para optimizar, fabricar y distribuir una unidad comercial. La compañía también quiere es-

2. www.sunfreshwater.com

Box 1. Tratamiento mediante el proceso foto-Fenton de efluentes industriales en Morelos, México

Antonio E Jiménez y Claudio A. Estrada*

En el estado de Morelos, México, los recursos hídricos enfrentan serios problemas de contaminación por efluentes provenientes, en primer lugar, de los sectores industrial, agrícola, rural y municipal y, en segundo, por la falta de drenaje en gran parte del estado. Esto último obliga a que gran parte del sector municipal y rural viertan sus aguas residuales directamente a las barrancas y ríos de la región. Debido a ello, hoy día más de 70% de las aguas superficiales de Morelos contiene algún grado de contaminación.

En México, las plantas de tratamiento procesan alrededor de 45% de las aguas residuales municipales generadas. Así mismo, el nivel de tratamiento de aguas procedentes de la industria es de 35%, lo cual representa una gran oportunidad para recuperar buena parte del porcentaje de agua. Estas estadísticas muestran lo rezagado que se encuentra el país en sistemas de tratamiento de aguas residuales y en materia de legislación, ya que la mayoría de estas aguas converge, sin ningún tipo de tratamiento, directamente a ríos y barrancas. Estas cifras representan una gran oportunidad para el desarrollo, innovación y uso de sistemas más eficientes para el tratamiento de sus aguas residuales instalados en el sitio adecuado de cada industria, capaces de degradar contaminantes recalcitrantes antes de que el efluente sea canalizado y vertido a los cuerpos receptores de agua, principalmente a los ríos, que es como comúnmente se hace.

Tomando en cuenta que la industria es el sector que más contamina el agua, las normas mexicanas en materia de descargas de aguas residuales establecen que una Demanda Química de Oxígeno (DQO) mayor a 200 mg/L sea catalogada como aguas fuertemente contaminadas. En el estado de Morelos existen industrias cuyas aguas residuales presentan muy altos niveles de contaminación, con nivel de DQO mayor a 2,000 mg/L.

En el IER-UNAM se han estudiado los procesos de oxidación avanzados para el tratamiento de aguas residuales utilizando energía solar concentrada. Unos primeros estudios permitieron reducir dodecilbenceno sulfonato de sodio en solución acuosa utilizando un concentrador solar parabólico con dióxido de titanio como catalizador. Se obtuvieron remociones del contaminante hasta de 94% [1]. Durante varios años se realizaron diferentes estudios de degradación fotocatalítica con concentración solar [2, 3, 4].

Actualmente, se ha desarrollado una metodología alternativa en el tratamiento de aguas residuales por medio del proceso foto-FENTON, utilizando reactores fotocatalíticos integrados con concentradores solares Cilindro Parabólico Compuesto (CPC) y razones de concentración geométrica de 1 sol. Ello ha permitido degradar efluentes procedentes de la industria textil y farmacéutica a niveles de remoción de contaminantes por arriba de 80% en términos de la DQO y de Carbón Orgánico Total COT, lo cual es un resultado muy alentador. Se está trabajando en optimizar los parámetros experimentales que incrementen el nivel de los procesos de degradación. Se plantea un estudio de escalamiento para presentarla a las industrias involucradas, de tal manera que se pueda instalar una planta de degradación fotocatalítica en el sitio de cada empresa antes de que éstas viertan sus efluentes a los cuerpos receptores de agua.

1. Jiménez A.E., Estrada C.A., Cota A.D. & Román A. Photocatalytic Degradation of DBSNa Using Solar Energy. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 60 (2000) 85-95
2. Bandala Erick R. & Estrada Claudio. Comparison of Solar Collection Geometries for Application to Photocatalytic Degradation of Organic Contaminants. *Journal of Solar Energy Engineering*, February 2007, Vol. 129, 22-26
3. Velázquez Martínez S., Pineda-Arellano C.A., Salgado-Tránsito I., Silva-Martínez S., Jiménez González A.E. Modified sol-gel/hydrothermal method for the synthesis of microsized TiO2 and iron-doped TiO2, its characterization and solar photocatalytic activity for an azo dye degradation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 359 (2018), 93-101. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.04.002.
4. Pineda Arellano C.A., Jiménez González A., Silva Martínez S., Salgado-Tránsito I., Pérez Franco C. (2013). Enhanced mineralization of atrazine by means of photodegradation processes using solar energy at pilot plant scale. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry,* Volume 272, 21-27.

*Instituto de Energías Renovables (IER), Universidad Nacional Autónoma de México, Temixco, Morelos 62580, México.

Cuadro 1. Resumen de la tecnología del agua utilizando energía renovable en las Américas

País	Tecnología	Etapa	Proponente
Argentina	Alambiques solares	Comercial	Universidad
Colombia	Aero-desalinizador (eólico)	Comercial	Ingeniero
	Desalinización solar (a pequeña escala)	Investigación	Universidad
Ecuador	Desinfección solar del agua	Investigación	Universidades e institutos de investigación
Nicaragua	Sistema fotovoltaico para purificar agua salobre (sistema de purificación de moluscos).	Comercial	Universidad
Perú	Sistemas ópticos: desalinización, desinfección solar. Sistemas no ópticos: Sistemas de carbón activado y óxido de titanio. Sistemas de electrificación solar: paneles solares.	Comercial (Patentes)	Universidad
Venezuela	Instalaciones fotovoltaicas y eólicas para sistemas de purificación de agua.	Comercial	Gobierno
	Desalinización (humidificación de efecto múltiple)	Investigación	Universidad
	Sistemas de energía solar térmica de baja temperatura.	Investigación	Universidad
	Acueductos utilizando energía potencial.	Comercial	Autoridades hídricas
Caribe	Desalinización por energía solar (Sta. Lucía y Barbados)	Comercial	Inventor (Sta. Lucía) Sector privado (Barbados)
	Destilación solar	Cambiando de etapa de investigación a comercial	Sector privado y colaboración de la universidad

tablecer una granja de agua de miles de unidades en una comunidad del Caribe, como parte de un estudio de caso que realizará Global Water Partnership sobre la eficacia de la tecnología.

También está el caso de Freshwater Ionics en Barbados, propietario y operador de una planta de desalinización que ha instalado capacidad solar en su planta de ósmosis inversa, pero que firmó un contrato de "compra todo, vende todo" (electrificación indirecta) con la compañía de electricidad del país: Barbados Light and Power.

Además, hay planes para incorporar la electrificación solar en las plantas de tratamiento y distribución de agua de Mona en Kingston, Jamaica. La Comisión Nacional del Agua está estudiando la posibilidad de construir paneles sobre el embalse de Mona para generar suficiente energía para alimentar las plantas y venderlas a la red. El Gobierno de Jamaica reconoce la inclusión de las energías renovables como un paso importante para establecer un modelo de negocio sostenible para la gestión del agua.

Energía y tratamiento de aguas residuales

La contaminación de las aguas residuales es un grave peligro en la gestión sostenible del agua. En general, solamente se recolecta un pequeño porcentaje del volumen de aguas residuales que se genera y se trata un porcentaje incluso menor. En la República Dominicana, por ejemplo, solamente se trata 38% de las aguas residuales recolectadas (Tió, 2017). Esta situación destaca el hallazgo de que las instituciones responsables de agua y saneamiento tienden a invertir más recursos en los suministros de agua que en el tratamiento de aguas residuales.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales que ahora se pueden considerar prototipos de esta relación entre la energía y el agua ya cuentan con biodigestores y otras formas de sistemas biológicos. Estos sistemas generan energía renovable o utilizan la luz del sol para procesar las aguas residuales y no requieren electricidad, lo que significa que son especialmente eficientes energéticamente. Los bio-digestores actualmente se están utilizando

en la República Dominicana y Ecuador en la gestión de desechos y la producción energética. Utilizan microorganismos para digerir y desintegrar la basura orgánica en un entorno anaerobio. Los productos finales son biogás, una forma de energía renovable, y un derivado rico en nutrientes, que puede utilizarse como fertilizante.

McFarren (s/f) presentó la experiencia de la República Dominicana, que implica el tratamiento del estiércol del cerdo y del excremento del ganado. McFarren se dio cuenta que en Monción, en la provincia de Sánchez Ramírez, hay un digestor pequeño que se instaló para producir gas metano a partir de 40 reses. Después de cinco años de en funcionamiento, ahora genera la suficiente energía para preparar 66 comidas al día en el convento de Las Carmelitas. El biodigestor también abasteció una pequeña fábrica de queso y dulces y cuenta con capacidad suficiente para dar servicio a una central eléctrica de 4,000 Kw.

Ecuador contaba con 38 biodigestores en funcionamiento en 2013 que trataban las aguas residuales del ganado y generaban energía, según Sáenz *et al.* (s/f). Un estudio realizado durante el procesamiento de los residuos de cerdos en una granja comercial en el cantón de Rumiñahui, provincia de Pichincha, reveló que un biodigestor con un volumen líquido de 9 m3 había generado aproximadamente 3 m3 de biogás al día, con un contenido de metanol de 52%.

Otros tipos de sistemas de gestión de aguas residuales en la región incluyen los humedales secos horizontales que utilizan procesos biológicos para purificar las aguas residuales como parte del tratamiento primario. Este sistema se ha implementado en la República Dominicana en la comunidad de Domingo Maíz y se ha replicado en Jarabacoa y en Vallejuelo, provincia de San Juan (según McFarren (s/f). Las plantas acuáticas se utilizan para proporcionar el oxígeno al sistema a través de las raíces y también para absorber los materiales no-orgánicos como los metales pesados y los productos agroquímicos. La tecnología funciona por gravedad (de tal forma que no requiere energía convencional) y las plantas aprovechan la energía del sol, logrando plantas energéticamente eficaces de bajo mantenimiento. La República Dominicana también utiliza otros sistemas energéticamente eficientes y naturales, según Tió (2017), entre los que se encuentran las lagunas anaeróbicas y las lagunas facultativas. Tió (2017) señala que se requiere llevar a cabo más investigaciones para lograr un mejor uso de las condiciones naturales en el tratamiento de aguas residuales.

Resultados y conclusiones

A diferencia de los combustibles fósiles, las fuentes de energía renovables como el sol y el viento son realmente inagotables y, por tanto, se pueden utilizar como base para una estrategia energética por tiempo indeterminado. La energía renovable también tiene la ventaja de producir mínimas emisiones de gas invernadero, mitigando así el impacto del cambio climático, que actualmente parece ser una amenaza de vida o muerte para gran parte de la civilización humana y del hábitat natural. Una estrategia que integra la energía alternativa con tecnologías de tratamiento de aguas refuerza la capacidad de adaptación de la región a lograr producir agua potable donde los recursos están contaminados o limitados debido a los impactos relacionados con el clima, como las sequías y la intrusión salina.

Las tecnologías solares, eólicas o hidráulicas que generan energía eléctrica son tecnologías relativamente maduras en la actualidad, pero existen otras opciones que no requieren electricidad para funcionar, como los reactores foto-catalíticos (sistemas de carbón activado y óxido de titanio) y los sistemas ópticos. La energía potencial asociada a los sistemas basados en la gravedad como los acueductos, es también una forma de energía renovable, pero su potencial no se ha explorado. El biogás, que puede generarse a partir del tratamiento de aguas residuales con biodigestores, representa un factor considerable, en particular, en zonas agrícolas.

Los casos que se analizaron en este trabajo han destacado la mayor rentabilidad de estas soluciones más limpias, en algunos casos, porque no requieren de ninguna energía externa, y en otros, porque no requieren productos químicos. El uso de la energía alternativa en conjunto con plantas de tratamiento de aguas es de particular importancia en zonas alejadas con baja densidad demográfica y acceso limitado a agua limpia o a fuentes confiables de electricidad. La tecnología también resulta muy útil en zonas de desastre, donde las redes centralizadas de

distribución de energía y agua se han averiado y no pueden suministrar electricidad y agua limpia a la gente en las zonas afectadas. El caso nicaragüense también puso de manifiesto el vasto campo de aplicación de la relación entre energía y agua para garantizar la seguridad de los alimentos en el sector pesquero. En Colombia, las ventajas sociales fueron evidentes, ya que se demostró que las comunidades indígenas en las zonas alejadas pudieron replicar el modelo de desalinización solar a partir de materiales reciclables y fácilmente accesibles, lo que propició que estas comunidades pudieran controlar de forma directa su abastecimiento de agua.

Este análisis de situaciones del trabajo que se ha realizado en las Américas ha demostrado que la mayoría de las intervenciones llevadas a cabo para incorporar la energía alternativa en soluciones dirigidas a la calidad del agua se centran principalmente en el tratamiento de aguas, y sus usos en el campo de la gestión de aguas residuales es limitado. Este resultado concuerda con la conclusión general en el sentido de que hay una mayor tendencia a invertir en sistemas de abastecimiento de agua que en la gestión de aguas residuales.

Varias universidades e instituciones de investigación han abogado por el desarrollo y la investigación de la tecnología en sus países y toda la región. Algunas universidades –como en la de Perú, por ejemplo– han conseguido las patentes para sus diseños y se han asociado con el sector privado para desarrollar y poner en práctica las soluciones en el sector hídrico y energético. En Venezuela, la política del Gobierno ha sido el mayor impulsor de la adopción de la energía renovable en el sector hídrico. En el Caribe, el ingenio individual y el proceso innovador del sector privado han sido los principales impulsores, por lo que la región ahora se encuentra en las primeras etapas del desarrollo de un sofisticado modelo de negocios comercialmente viable.

Recomendaciones

La gestión del agua requiere una combinación de soluciones preventivas y de etapa final integradas en un enfoque normativo integral dirigidas a resolver los objetivos de calidad del agua. Las principales recomendaciones para la gestión del agua incluyen las siguientes:

- Normas de desarrollo para fuentes no-puntuales de contaminación (como los productos agroquímicos);
- Establecer un programa independiente de monitoreo e investigación de la calidad del agua, un conjunto integral de estándares eficaces y contar con la capacidad institucional necesaria para realizar mejoras y hacer cumplir los estándares;
- Implementación de políticas de zonificación y de una gestión integrada de las cuencas hidrográficas;
- Incorporación de principios eco-céntricos y preventivos en la gestión de la calidad del agua, sobre todo porque se relaciona con el uso de sustancias tóxicas.

Con respecto a la relación energía-agua, las principales recomendaciones incluyen las siguientes:

- Colaboración en la investigación y el desarrollo a nivel regional: Esto puede lograrse con la ayuda de IANAS en sociedad con la Asociación Mundial del Agua (GWP), la Asociación Caribeña de Agua y Aguas Residuales (CWWA) y otras instituciones energéticas de la región.
- Financiamiento para las iniciativas de esta relación: Es necesario contar con los recursos para desarrollar y fabricar la tecnología necesaria para solucionar los problemas de la región. En el caso del exitoso inventor de Santa Lucía, el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (FMAM) aportó pequeños subsidios para realizar el estudio de factibilidad y desarrollar la tecnología, y ya se logró exportar la tecnología a otra pequeña nación-isla en desarrollo para resolver el problema del agua. Esta ayuda financiera, que puede convertirse en una oportunidad única para los bancos de desarrollo que ofrecen créditos a bajo interés o acciones, debe hacerse llegar a los investigadores y al sector privado, sobre todo en los casos en los que se requiere de financiamiento para presentar un prototipo al mercado.
- Incentivos del Gobierno para la integración de las tecnologías hídricas y energéticas: Debe desarrollarse un entorno normativo para fomentar el desarrollo de estrategias más sostenibles que garanticen la seguridad del agua. Esto podría incluir incentivos financieros para tecno-

logías limpias y desincentivos basados en el principio "quien contamina, paga" con respecto a tecnologías ineficaces que todavía se utilizan para el suministro de energía y el tratamiento de aguas.

- Gestión de aguas residuales: El suministro de agua requiere de inversión, pero las medidas para mejorar la eficacia y reducir las fugas de agua y los hurtos son igualmente importantes, y las correspondientes inversiones deben centrarse en el tratamiento de aguas residuales. Este enfoque integral generará la eficiencia hídrica y energética necesaria para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenibles.

Bibliografía

Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela y Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (s/f). *Aldeas inteligentes, energías sostenibles y uso del agua.* (Documento inédito). Venezuela.

Flores-Díaz, Adriana C. *et al.* (2018). *Calidad del agua en México.* (Documento inédito). México: Academia Mexicana de Ciencias.

Franco, J. (s/f). *Una experiencia de desalinización del agua mediante energía solar en el norte de Argentina.* (Documento inédito). Argentina: Universidad Nacional de Salta.

González Rivas, E.J. *et al.* (2018). *Calidad del agua en Venezuela.* (Documento inédito). Venezuela

IANAS-IAP (2016). *Guía hacia un futuro energético sustentable para las Américas.* Mexico: IANAS.

McFarren, Tim (s/f). *Experiencias de tecnologías utilizadas en la República Dominicana para mitigar los efectos del agua contaminada mediante la tecnología apropiada.* (Documento inédito). República Dominicana.

Mitchell, Kerry, Martin S. Forde, y Allan Neptune (2018). *Water Quality in the Americas – Grenada.* (Documento inédito). St. George's, Grenada: St. George's University

Rincón-Martínez, José M. y Diana M. Durán-Hernández (s/f). *Energía renovable y desarrollo de la calidad del agua en Colombia.* (Documento inédito). Colombia.

Rodriguez, Juan (s/f). *Experiencias y prácticas efectivas en el uso de energías alternativas para mejorar la calidad del agua: el caso de Perú.* (Documento inédito). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Sáenz, Melio, Felipe Cisneros y Ricardo Izurieta (s/f). *Calidad del agua y energía en las Américas: un caso de estudio de Ecuador.* (Documento inédito). Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca

Sandoval, Erick (s/f). *Uso de un sistema fotovoltaico para purificar el agua salobre utilizada para limpiar los moluscos bivalvos destinados al consumo humano en el municipio de Aserradores-Chinandega, Nicaragua.* (Documento inédito). Managua, Nicaragua: Universidad Centroamericana.

Tió, Roberto C. (2017). *Estatus de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la República Dominicana.* (Documento inédito). República Dominicana.

Chile

Chile es un país de contrastes en relación con los recursos hídricos, con una escorrentía per cápita promedio anual de 500 m³ desde el área metropolitana hacia el norte, donde prevalecen condiciones de escasez, y de 7.000 m³ en el sur. Chile ha logrado índices de saneamiento y acceso a agua potable elevados para la región y también ha avanzado considerablemente en el conocimiento y protección de la calidad del agua. Sin embargo, las presiones del desarrollo urbano, minero, agrícola e industrial, sumado a condiciones hidrológicas y geoquímicas diversas, configuran desafíos importantes sobre calidad del agua hacia el cumplimiento de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, en dimensiones que van más allá del saneamiento y acceso a agua potable.

Lago de Cochrane en la Patagonia, Chile © iStock

Calidad del Agua en Chile: Avances, desafíos y perspectivas

Pablo Pastén, Alejandra Vega, Paula Guerra, Jaime Pizarro y Katherine Lizama

Resumen

Mucho se ha avanzado en el conocimiento y protección de la calidad del agua en Chile, pero condiciones hidrológicas y geoquímicas diversas sumadas a presiones del desarrollo urbano, agrícola, industrial y minero hacen de Chile un caso interesante, determinando múltiples desafíos hacia el cumplimiento de la Agenda 2030 en dimensiones más allá del saneamiento y acceso a agua potable.

1. Introducción

Chile mostró desde 1990 a 2015 una evolución positiva en los indicadores de acceso a agua potable y saneamiento asociados a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de las Naciones Unidas (2001). Esta evolución positiva en tratamiento de agua potable trajo beneficios tanto a la salud y al medio ambiente, como al desarrollo socioeconómico. Ahora, el país enfrenta el compromiso de avanzar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) acordados en la Agenda 2030 (United Nations, 2015). El ODS 6 propone metas e indicadores directamente relacionados con la calidad del agua. Sin embargo, la calidad del agua juega directa o indirectamente un rol relevante en otras metas e indicadores asociados a los ODS, yendo más allá del acceso a agua potable, saneamiento e higiene. Así, la calidad del agua se vincula también a la gestión de los recursos hídricos, la resiliencia de comunidades y ciudades, el desarrollo agrícola, minero e industrial, la viabilidad de ecosistemas, y con la equidad y justicia ambiental (*e.g.* Evans & Kantrowitz, 2002; VanDerslice, 2011).

Este capítulo busca describir las principales tendencias espaciales y temporales de la calidad del agua en Chile, destacar algunos avances en el conocimiento de los procesos que controlan la calidad del agua e identificar desafíos hacia el futuro. Se pone especial énfasis en temáticas y problemáticas características del país como los enriquecimientos minerales que han motivado una fecunda actividad minera pasada, presente y futura.

Pablo Pastén. ppasten@ing.puc.cl Coordinador del capítulo. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS) y Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Santiago, Chile. **Alejandra Vega.** asvega@uc.cl Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS) y Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Santiago, Chile. **Paula Guerra.** paula.guerra@usm.cl Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Valparaíso, Chile. **Jaime Pizarro.** jaime.pizarro@usach.cl Universidad de Santiago, Departamento de Ingeniería Geográfica, Santiago, Chile. **Katherine Lizama.** klizama@ing.uchile.cl Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago, Chile.

Este capítulo comienza presentando objetivos y metas relacionados con la calidad del agua, tanto en los ODM como en los ODS, y su evolución y línea de base para Chile. Luego, presenta las redes de monitoreo e información de calidad del agua existentes en Chile. Seguidamente, describe la calidad del agua ahí mismo identificando las macrotendencias espaciales y temporales de parámetros clave de calidad del agua para aguas superficiales y subterráneas. A continuación, expone aspectos distintivos de la calidad del agua para regiones y cuencas seleccionadas, destacando problemáticas relevantes para Chile y enfatizando los principales avances científicos sobre la ocurrencia, distribución, dinámica y control de contaminantes. Luego, se abordan brevemente aspectos de gobernanza y normativa que enmarcan el control y protección de la calidad del agua. Finalmente, se sintetizan las principales conclusiones y desafíos, con especial énfasis en las necesidades de desarrollo científico y tecnológico, junto con el desarrollo de políticas públicas para el mejoramiento y protección de la calidad del agua.

El lector puede encontrar información complementaria sobre la hidrografía, hidrología y aguas urbanas en Chile en los dos volúmenes previos de esta serie editada por IANAS.[1]

2. Calidad del agua en Chile en relación con los ODM y los ODS

Desempeño para metas e indicadores de los ODM

Las principales metas e indicadores asociados a calidad del agua contenidos en los ODM se presentan en la **Tabla 1**, incluyendo su variación para Chile entre 1990 y 2015. La calidad del agua en los ODM se relaciona principalmente con el ODM 7, especialmente con la Meta 7C y los Indicadores 7.8 y 7.9. Así, los aspectos de calidad del agua en los ODM se concentran en acceso a agua potable y saneamiento.

Calidad del agua y metas e indicadores de los ODS

La calidad del agua es una dimensión fundamental para varios de los ODS, partiendo por el ODS 6 donde la disponibilidad de agua para todos depende de la calidad en relación con su uso. Los indicadores directos de calidad del agua están asociados a las Metas 6.3 y 6.6. Para éstas se consideran específicamente los Indicadores 6.3.2 (proporción de cuerpos de agua con buena calidad del agua ambiental) y 6.6.1 (cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua en el tiempo). El listado de indicadores para las metas del ODS 6 se presenta en UN Water (2017a) y se discuten más adelante para Chile.

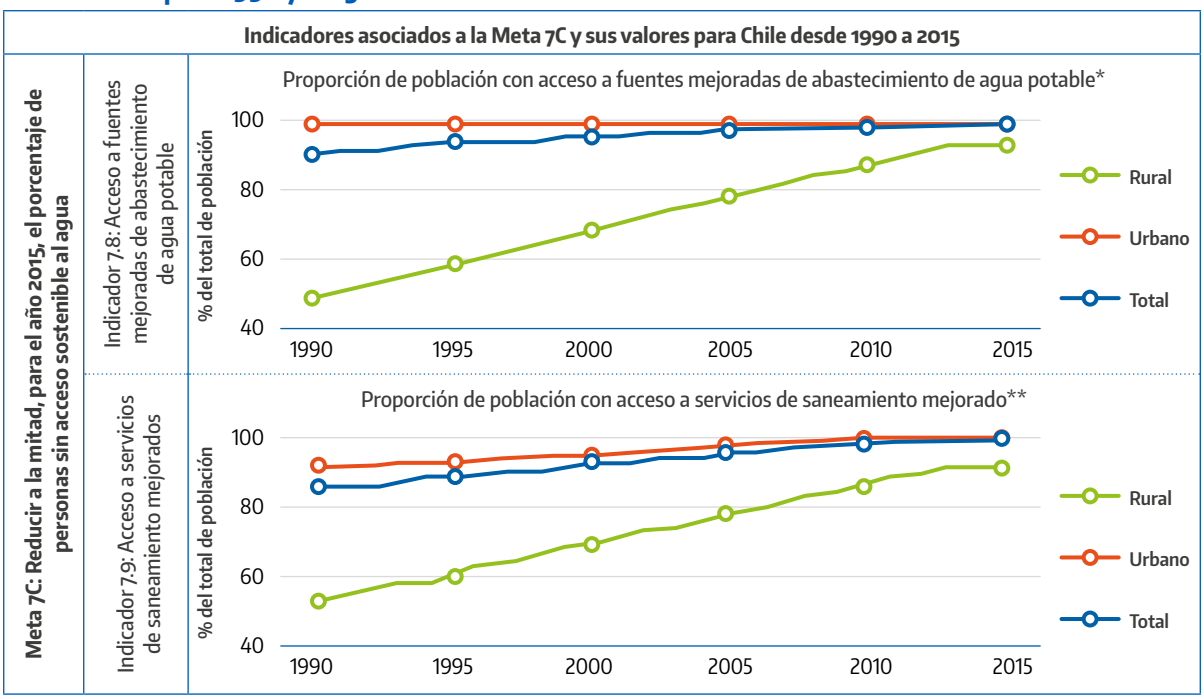
Las **Tablas 2a y 2b** presentan la evolución de los indicadores de agua potable y aguas servidas para Chile, comparando los valores con la región. Estas tablas confirman que en Chile existió una evolución positiva de los indicadores de agua potable y saneamiento, y muestran un desempeño destacado en el contexto de Latino América y el Caribe.

La implementación sistemática de interceptores, conducciones de aguas residuales, y plantas de tratamiento y disposición de aguas servidas impactó favorablemente los indicadores de salud pública. La implementación de esta política pública –que en este caso se realizó bajo el sistema de concesiones a privados– se asoció a un aumento de la cantidad de hectáreas regadas con aguas de calidad apta para agricultura, disponibilidad de aguas aptas para cumplir estándares internacionales de seguridad alimentaria en productos agrícolas de exportación, condiciones más favorables al turismo y la posibilidad de recuperación de energía en los sistemas de digestión anaeróbica (United Nations, 2017).

No obstante, la estadística de saneamiento incluye la disposición a través de emisarios submarinos. A noviembre de 2014 se contabilizó que cerca de 30% de las aguas servidas municipales de Chile se disponen a través de emisarios submarinos, en 33 sistemas que emplean esta alternativa, resultando cerca de 250.000.000 m^3 al año de aguas servidas dispuestas en el mar (SISS, 2014) sin tratamiento secundario. De esta manera, el buen desempeño en la Meta 7C de los ODM ocurre en parte a costa de una transferencia de las aguas residuales hacia los ecosistemas marinos.

1. Cf. http://www.ianas.org/docs/books/Diagnostico_Agua.html, p. 169 y http://www.ianas.org/docs/books/Desafios_ Agua.html , p. 152.

Tabla 1. ODM. Identificación de objetivos relacionados con calidad del agua y sus metas e indicadores para 1990 y 2015



Fuente: Elaboración propia con base en Indicadores de los ODM, consultados en http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Data.aspx el 4 de junio de 2018. *Fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable corresponden a una instalación que por su diseño está protegida de contaminación externa, en particular contaminación de origen fecal. Los usuarios de agua embotellada se consideran como un acceso adecuado sólo cuando poseen una fuente mejorada secundaria de abastecimiento. No se incluyen pozos, manantiales no protegidos, agua de camiones cisternas y agua embotellada, agua tomada directamente de ríos, estanques, riachuelos, lagos, embales o canales de irrigación. **Servicio de saneamiento mejorado se define como una instalación que higiénicamente evita el contacto de las excreciones con humanos, animales e insectos. Incluyen baños y letrinas conectadas a alcantarillado, fosas sépticas, letrinas con plataforma de cualquier material que cubra la fosa excepto por el orificio de descarga. Servicios no mejorados incluyen instalaciones públicas o compartidas, baños con descarga directa a alcantarillado abierto o zanjas, letrinas sin plataforma, letrinas de balde, baños o letrinas colgantes y defecación al aire libre, campos o cuerpos de agua.

Aunque se ha sugerido que los sistemas de emisarios submarinos bien diseñados pueden ser seguros (Roberts *et al.,* 2010), existe evidencia contundente que los emisarios submarinos generan alteraciones en los sistemas costeros (Gibbs and Miskiewicz, 1995; Roth *et al.,* 2016). Además, la disposición final de aguas servidas en el mar impide su reutilización, aspecto fundamental para regiones áridas y semiáridas en el norte y centro de Chile.

En relación con el agua potable, el porcentaje de cumplimiento de valores de parámetros establecidos en la norma de calidad de agua potable (NCh409Of.2005) y su muestreo a 2016 era de 99,2% en el sector urbano, presentando una evolución positiva en el tiempo (Ministerio del Medio Ambiente, 2017b). El incumplimiento de parámetros como cloruro, nitrato, sólidos suspendidos totales, sulfato y arsénico se concentran preferentemente en sistemas de agua potable del norte de Chile (*e.g.* Copiapó, Alto Hospicio, Caldera, Tierra Amarilla y Chañaral), aspecto que es abordado a través del cambio de fuentes y tecnologías en los planes de desarrollo de las sanitarias, bajo la fiscalización de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Sin perjuicio de lo anterior, debe existir un proceso periódico de revisión de los parámetros y valores normados en relación con la evidencia de riesgos para la salud humana. Por ejemplo, el boro no se incluye en la norma primaria de calidad de agua potable, pero en la Macrozona Norte existen fuentes de agua con valores elevados de boro, muy por sobre los 2,4 mg L^{-1} recomendados por la OMS.

Tabla 2.a. ODS. Evolución de las principales variables de desempeño del Indicador 6.1 del ODS 6 relacionadas con la calidad del agua

		Chile		Latino América y Caribe		Norte América y Europa	
		2000	2015	2000	2015	2000	2015
	Población (miles)	15.170	17.948	526.890	634.387	1.040.132	1.096.280
	% urbano	86	90	75	80	73	76
% población con disponibilidad de agua para consumo							
Nacional	Al menos básico	95	100	90	96	99	99
	Limitado	-	-	1	1	0	0
	No mejorada	5	0	6	2	1	1
	Agua superficial	0	0	3	1	0	0
	Tasa de cambio anual en básico	0,32		0,38		0,02	
Rural	Al menos básico	72	100	71	86	96	97
	Limitado	-	-	2	2	1	0
	No mejorada	28	0	16	6	3	2
	Agua superficial	0	0	10	6	0	0
	Tasa de cambio anual en básico	1,84		0,97		0,05	
Urbano	Al menos básico	99	100	97	99	99	99
	Limitado	-	-	0	0	0	0
	No mejorada	1	0	3	1	0	0
	Agua superficial	0	0	0	0	0	0
	Tasa de cambio anual en básico	0,07		0,14		0	
% población usando suministros de aguas mejorados							
Nacional	Gestionado de manera segura	92	98	61	65	89	94
	Accesible en la vivienda	92	99	82	93	91	94
	Disponible cuando se necesita	94	99	72	74	-	98
	Libre de contaminación	95	98	61	65	96	98
	Canalizada	94	100	83	91	94	95
	No canalizada	2	0	8	6	5	4
Rural	Gestionado de manera segura	-	-	-	-	-	-
	Accesible en la vivienda	53	95	53	79	78	90
	Disponible cuando se necesita	67	93	56	61	-	-
	Libre de contaminación	-	-	-	-	-	-
	Canalizada	62	100	54	72	82	89
	No canalizada	10	0	19	16	15	8
Urbano	Gestionado de manera segura	98	98	77	77	-	96
	Accesible en la vivienda	98	100	91	91	96	96
	Disponible cuando se necesita	99	99	77	77	99	99
	Libre de contaminación	99	98	92	93	-	100
	Canalizada	99	100	93	96	98	98
	No canalizada	0	0	4	3	2	2

Fuente: adaptado de WHO y UNICEF (2017a; 2017b). **Gestionado de manera segura:** Agua potable de una fuente mejorada que está ubicada en viviendas, disponible cuando se necesita y libre de contaminación fecal o química prioritaria. **Básico:** Agua potable de una fuente mejorada para la cual el tiempo de recolección no excede los 30 minutos por ronda incluyendo hacer filas. **Limitado:** Agua potable de fuente mejorada para la cual el tiempo de recolección excede los 30 minutos por ronda incluyendo hacer filas. **No mejorada:** Agua potable de pozo no protegido o manantial no protegido. **Agua superficial:** Agua potable directa de un río, presa, lago, estanque, riachuelo, canal o canal de irrigación.

La **Tabla 3** presenta líneas de base y metas para varios de los indicadores del ODS 6, presentados en el Informe de Diagnóstico e Implementación de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Chile (Gobierno de Chile, 2017), asociado a la labor del Consejo Nacional para la Implementación de la Agenda 2030.[2] A nivel nacional, las cifras indican en 2015 un porcentaje elevado de provisión de agua potable y saneamiento. Sin embargo, las cifras a nivel nacional dan cuenta de un camino importante por recorrer en las áreas rurales, donde en 2015 vivía 12,7% de la población (Instituto Nacional de Estadísticas, 2015), según se muestra en las **Tablas 1, 2.a y 2.b.**

El suministro de agua potable en áreas rurales se organiza mediante sistemas de Agua Potable Rural (APR), fuera del sistema de concesiones de empresas sanitarias que se enfoca a áreas urbanas. Éstas son organizaciones (comités, cooperativas) que obtienen los permisos de funcionamiento del Ministerio de Salud y a las que no son aplicables la normativa de las concesionarias (la SISS no tiene injerencia en su operación), aunque deben cumplir las normas técnicas, como la norma de calidad de

2. En el Consejo Nacional para la Implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible participan: el Ministerio de Economía Fomento y Turismo, el Ministerio de Desarrollo Social y el Ministerio del Medio Ambiente, y lo preside el Ministerio de Relaciones Exteriores. "Sus principales funciones son: Asesorar a Presidente/a de la República en la implementación y seguimiento de la Agenda 2030; servir de instancia de coordinación en la implementación y seguimiento de la Agenda y de los ODS a nivel nacional y regional" (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2016).

Tabla 2.b: Evolución de principales variables de desempeño del Indicador 6.2 del ODS 6 relacionado con la calidad del agua

		Chile		Latino América y Caribe		Norte América y Europa	
		2000	2015	2000	2015	2000	2015
Saneamiento (% población)							
Nacional	Al menos básico	92	100	75	86	96	97
	Limitado	0	0	4	5	1	1
	No mejorada	6	0	11	6	4	2
	Defecación al aire libre	2	0	10	3	0	0
	Tasa de cambio anual en básico	0,54		0,7		0,1	
	Tasa de cambio anual defecación al aire libre	-0,15		-0,44		0,00	
Rural	Al menos básico	67	99	47	68	89	94
	Limitado	0	0	3	5	1	1
	No mejorada	29	0	20	15	10	5
	Defecación al aire libre	3	1	29	11	0	0
	Tasa de cambio anual en básico	2,12		1,41		0,32	
	Tasa de cambio anual defecación al aire libre	-0,16		-1,21		-0,01	
Urbano	Al menos básico	96	100	84	90	98	98
	Limitado	0	0	4	5	1	1
	No mejorada	2	0	8	4	1	1
	Defecación al aire libre	2	0	3	1	0	0
	Tasa de cambio anual en básico	0,28		0,38		0,01	
	Tasa de cambio anual defecación al aire libre	-0,15		-0,15		0,00	

% población usando sistemas de saneamiento mejorados							
Nacional	Gestionado de manera segura	27	85	10	22	74	78
	Disposición en el lugar	6	5	-	-	-	-
	Vaciada y tratada fuera del lugar	0	0	-	-	-	-
	Tratamiento de agua residual	21	80	10	22	74	78
	Letrinas y otros	5	1	11	9	6	5
	Fosa séptica	7	9	17	17	10	10
	Conexión a alcantarillado	80	90	47	60	79	82
Rural	Gestionado de manera segura	-	-	-	-	42	47
	Disposición en el lugar	-	-	-	-	-	-
	Vaciada y tratada fuera del lugar	-	-	-	-	-	-
	Tratamiento de agua residual	3	20	2	5	42	47
	Letrinas y otros	28	13	20	22	16	14
	Fosa séptica	28	63	18	32	28	29
	Conexión a alcantarilla	11	22	9	14	45	50
Urbano	Gestionado de manera segura	47	81	12	27	86	87
	Disposición en el lugar	2	1	-	-	-	-
	Vaciada y tratada fuera del lugar	0	0	-	-	-	-
	Tratamiento de agua residual	45	80	12	27	86	87
	Letrinas y otros	1	0	8	5	3	3
	Fosa séptica	3	2	16	13	4	4
	Conexión a alcantarilla	91	98	60	72	91	92

Fuente: adaptado de WHO y UNICEF (2017a; 2017b). **Gestionado de manera segura:** Uso de instalaciones mejoradas que no son compartidas con otros hogares y donde los excrementos son adecuadamente dispuestos en el sitio o transportados a sistemas de tratamiento fuera del lugar. **Básico:** Uso de instalaciones que no son compartidas con otros hogares. **Limitado:** Instalaciones mejoradas compartidas entre dos o más hogares. **No mejorada:** Uso de letrinas sin una plataforma, letrinas colgantes o letrinas de balde. **Defecación al aire libre:** Disposición de fecas humanas en campos, bosques, matorrales, cuerpos de agua abiertos, playas y otros espacios o con residuos sólidos.

agua potable. La Ley 20.998 de 2017 que regula la gestión de los servicios sanitarios rurales internaliza la asesoría técnica de los APR en el Ministerio de Obras Públicas. En los últimos años, el Ministerio de Obras Públicas ha realizado inversiones importantes en el sistema de APR, especialmente en localidades del norte de Chile con registros elevados de arsénico. Sin embargo, todavía queda por realizar una vigilancia amplia y sistemática no sólo del cumplimiento de los parámetros de calidad del agua, sino también del costo-efectividad de las soluciones adoptadas.

Primeros pasos en líneas de base y metas para el indicador de calidad del agua

Para el Indicador 6.3.2 de los ODS se estableció una línea de base en 67% de masas de agua de buena calidad, y una meta de 80% para 2030 (**Tabla 3**). Cabe señalar que se consideró sólo 6 sistemas para los cuales se dispone de referencia normativa, incluyendo dos secciones de río (Maipo en Cambimbao y Biobío en desembocadura), dos acuíferos (Cachapoal y Tinguiririca) y dos lagos (Villarrica y Llanquihue). El Subindicador 6.6.1.c presenta mayor detalle relacionado con el Indicador 6.3.2, aunque se debe considerar una conversión para reflejar que el Indicador 6.6.1 se refiere a un porcentaje de cambio en el tiempo, mientras que el Indicador 6.3.2 se refiere a un porcentaje de cuerpos de buena calidad (UN Water, 2017b; UN Water, 2017c). Considerando lo reciente del establecimiento de metodologías y guías para el cálculo de los indicadores, es positivo que ya existan estimaciones para 6 cuerpos de agua. El necesario establecimiento de nuevas normas se-

cundarias de calidad del agua permitirá el cálculo de los indicadores para otros cuerpos de agua de interés a lo largo del país. De acuerdo con el *Atlas del Agua 2016* (Dirección General de Aguas, 2016), Chile posee 101 cuencas hidrográficas, 1.251 ríos, 12.784 lagos y lagunas, y 24.114 glaciares, con un total de 829 estaciones vigentes de monitoreo de calidad del agua (**Figura 1**). El trabajo en nuevas normas secundarias de calidad del agua y planes de vigilancia para cuencas priorizadas en Chile será un insumo importante para aumentar la cobertura del cálculo de los indicadores de calidad del agua del ODS 6.

Hacia una contabilidad más integral de presiones e interacciones de la calidad del agua

Los ODM y los ODS también consideran aspectos de sostenibilidad indirectamente relacionados con la calidad del agua. Chile ha impulsado iniciativas orientadas a articular los esfuerzos y reportes sobre aspectos de sostenibilidad que incluyen el estado de los ambientes acuáticos, presiones y esfuerzos en conservación de la biodiversidad, como la Estrategia Nacional de Biodiversidad (Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2003)[3] y la Estrategia de Crecimiento Verde (Ministerio del Medio Ambiente, 2013). Una aproximación más integral hacia las cuentas ambientales está considerada en el Plan Nacional de Cuentas Ambientales (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Este plan establece la implementación institucional y operativa del Sistema Integrado de Cuentas Ambientales, Ecosistémicas y Económicas (SICAEE). El SICAEE *"responde a la necesidad de avanzar hacia sistemas integrados*

3. El Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS) aprobó recientemente la Estrategia Nacional de Biodiversidad para el período 2017-2030 (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

Tabla 3: Líneas de base y metas 2030 para los indicadores del ODS 6

Meta	Indicador	Base 2015	Meta 2030	Notas
6.1	6.1.1 Proporción de la población que dispone de servicios de suministro de agua potable gestionados de manera segura (%)	97,95	100	Tier I; MI; Valor nacional
6.2	6.2.1 Proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados de manera segura, incluida una instalación para lavarse las manos con agua y jabón (%)	96,53	100	Tier I; MI; Valor nacional
6.3	6.3.1 Proporción de aguas residuales tratadas de manera segura (%)	99,89	99,98	Tier II; MI; Valor nacional
	6.3.2 Proporción de masas de agua de buena calidad	67	80	Tier III; MI; Ver Nota c e Indicador 6.6.1c
6.4	6.4.1 Cambio en la eficiencia del uso del agua con el tiempo	S/I	ND	-
	Municipal	66,42		Tier III; MN
	Energía	5,22		Tier III; MN
	Industrial	0,83		Tier III; MN
	6.4.2 Nivel de estrés por escasez de agua: extracción de agua dulce como proporción de los recursos de agua dulce disponibles	1,47	ND	Tier II; MN; Año 2014, valor nacional
	Municipal	0,19		Tier II; MN
	Energía	1,25		Tier II; MN
	Industrial	0,03		Tier II; MN
	Agrícola	3,25		Tier II; MN
6.5	6.5.1 Grado de aplicación de la ordenación integrada de los recursos hídricos (0-100)	13,5	30	Tier II; MI
	6.5.2 Proporción de la superficie de cuencas transfronterizas con un arreglo operacional para la cooperación en la esfera del agua	S/I	ND	Tier II; MI no definida

6.6	6.6.1 Cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua a lo largo del tiempo	Ver nota d	0	Tier III; MI; Ver Nota c
	6.6.1.a Cambio en la extensión espacial del ecosistema acuático (km^2)	S/I	ND	Tier III; Ver Nota e
	Lago Villarrica-Litoral Sur	176		
	Lago Llanquihue-Puerto Octay	870,5		
	6.6.1.b Cambio en la cantidad de agua en el ecosistema acuático	S/I	ND	Tier III; Ver Nota e
	Lago Villarrica-Litoral Sur (km^3)	21		
	Lago Llanquihue-Puerto Octay (km^3)	152,9		
	Río Maipo en Cabimbao (m^3/s)	111,55		
	Río Biobío en desembocadura (m^3/s)	954		
	Acuífero Cachapoal (SHAC[f]) Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	S/I		
	Acuífero Tinguiririca (SHAC[f]) Tinguiririca Superior	S/I		
	6.6.1.c Cambio en la calidad del agua	S/I	ND	Tier III; Corresponde a Indicador 6.3.2. Ver Nota e
	Lago Villarrica-Litoral Sur (%)	70		
	Lago Llanquihue-Puerto Octay (%)	97		
	Río Maipo en Cabimbao (%)	90		
	Río Biobío en desembocadura (%)	47		
	Acuífero Cachapoal (SHAC[f]) Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua (%)	100		
	Acuífero Tinguiririca (SHAC[f]) Tinguiririca Superior (%)	81		

Fuente: adaptado de Gobierno de Chile, 2017.

Notas: a) Corresponde a la clasificación de la Comisión Estadística Internacional de Indicadores ODS. Tier I: Indicador conceptualmente claro, metodología establecida y estándares disponibles y datos producidos regularmente por los países; Tier II: Indicador conceptualmente claro, metodología establecida y estándares disponibles pero los datos no son producidos regularmente por los países; Tier III: Indicador para el cual no hay metodología y estándares establecidos o metodología/estándares están siendo desarrollados/probados. MI= corresponde a metodología Internacional; MN = Metodología Nacional; REV= En revisión. b) Incluye las categorías de "Red Pública" y "Pozo"; se excluyen "Río, vertiente, lago o estero", "Camión aljibe" y "Otra fuente". c) Se reporta el lago Villarrica (estación litoral sur); lago Llanquihue (estación Puerto Octay); río Maipo (estación Maipo en Cabimbao); río Biobío (estación desembocadura Norte); Acuífero del Cachapoal (SHAC Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua-Tagua) y Acuífero del Tinguiririca (SHAC Tinguiririca Superior). d) Valores incorporados en cada Subindicador. e) Sólo hay datos para cuerpos de agua puntuales. Queda pendiente indicador nacional. f) SHAC: sistema hidrogeológico de aprovechamiento común. S/I: Sin información. ND: Meta no definida.

de producción de estadísticas, de manera de responder a las crecientes demandas nacionales e internacionales por información ambiental coherente y consistente, así como también integrada a la información económica y social" y así *"responder a las mediciones ambientales en el programa estadístico de Naciones Unidas (ODS) y al compromiso con organismos internacionales como la OCDE, Unión Europea, Naciones Unidas, CBD, entre otros"*. Desde el punto de vista de las presiones sobre la calidad del agua bajo un enfoque DPSIR (*Driving forces-Pressure-State-Impact-Response*) (European Environment Agency, 1999), se encuentra en operación el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) (Ministerio del Medio Ambiente, 2017a), integrado al Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) para la elaboración de cuentas ambientales. El RETC *"es una base de datos destinada a: capturar, recopilar, sistematizar, conservar, analizar y difundir la información sobre emisiones al aire y al agua, residuos y transferencias de contaminantes potencialmente dañinos para la salud y el medio ambiente, generados en actividades industriales o no industriales"*. El RETC permite disponer de información sobre localización y magnitud de emisiones a aguas superficiales y subterráneas por actividad productiva. El Tercer Reporte del Estado del Medio Ambiente (Ministerio del Medio Ambiente, 2017b) registra que en 2015 las actividades que reportan al RETC que generaron mayores emisiones

hacia cuerpos de agua superficial fueron la eliminación de residuos y aguas residuales, saneamiento y actividades similares (56,6%), la extracción de cobre (16,5%) y la acuicultura y servicios relacionados (14,7%), mientras que hacia aguas subterráneas fueron la elaboración de bebidas (48,7%), la producción, procesamiento y conservación de carne, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas (27%), y la cría de animales (13,3%).

3. Red de monitoreo de calidad del agua

Red de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA)

La DGA es el organismo del Estado dependiente del Ministerio de Obras Públicas que opera la red de calidad de aguas continentales, incluyendo aguas superficiales (ríos, lagos) y subterráneas. La distribución de las 829 estaciones vigentes de calidad del agua junto a un resumen de características demográficas e hidrológicas de las cuatro macrozonas de Chile (Norte, Centro, Sur y Austral) se presenta en la **Figura 1.** Aproximadamente 61% de las cuencas cuenta con estaciones de monitoreo de calidad del agua, de las cuales cerca de 85% monitorea aguas superficiales y 15% aguas subterráneas[4] (Dirección General de Aguas, 2014). Existe una red de monitoreo para evaluar la condición trófica de 20 lagos y lagunas, de los cuales 3 se encuentran en la Macrozona Centro y 17 en la Macrozona Sur (Dirección General de Aguas, 2016). El criterio de distribución de las estaciones considera especialmente áreas de escasez hídrica, alta densidad poblacional y áreas de presiones antrópicas. En su concepción busca disponer de estaciones que permitan identificar el "estado natural" y estaciones que permitan identificar el efecto de las presiones sobre la calidad del agua. Sin embargo, en la práctica es difícil discriminar cuál es el estado natural para sales disueltas y metales en muchas cuencas andinas, considerando que ocurren enriquecimientos naturales y explotaciones mineras en las cabeceras de dichas cuencas.

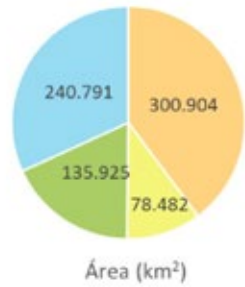
El muestreo se efectúa cuatro veces al año (uno por estación) para aguas superficiales desde 2017, y tres o cuatro veces al año en años previos. Para aguas subterráneas, el muestreo se realiza dos veces al año, en otoño y primavera (Gobierno de Chile, 2017). Existe una proporción muy menor de estaciones hidrométricas que disponen de sensores multiparamétricos de calidad del agua que entregan información continuamente a través de la plataforma satelital. El muestreo de calidad de aguas lo realiza personal de la DGA, y los análisis se efectúan mayormente en el laboratorio central de la DGA, que cuenta con acreditación ISO 17.025.[5] Una vez disponibles los resultados de los análisis, se ingresan a la base de datos BNA (Banco Nacional de Aguas) y son puestos a disposición del público a través de la plataforma CIRH (Centro de Información de Recursos Hídricos).

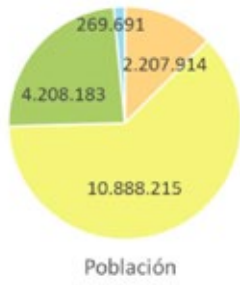
Los parámetros medidos por la DGA en el campo son temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, mientras que los parámetros medidos en laboratorio incluyen un rango amplio de metales, aniones, nutrientes y un parámetro orgánico agregado (demanda química de oxígeno) (Dirección General de Aguas, 2014). Actualmente, el Laboratorio Ambiental de la DGA mide el 60% de los parámetros normados y se planea al 2022 medir el 80% de los parámetros contenidos en normas secundarias de calidad de aguas. La centralización de los análisis y la disponibilidad de recursos impiden que se analicen otros parámetros que requieren análisis más expedito, como la DBO5. La lista considera los parámetros básicos propuestos por UN Water (2017b), mientras que algunos parámetros relevantes de la lista de parámetros de monitoreo progresivo no están incluidos. Considerando las presiones a la calidad del agua que podrían ser relevantes en algunas cuencas, el monitoreo de la DGA reportado por Dirección General de Aguas (2014) no considera parámetros como alcalinidad, turbidez, sólidos suspendidos, hidrocarburos, pesticidas, compuestos orgánicos volátiles, contaminantes emergentes y parámetros microbiológicos. Sin embargo, con la progresiva implementación de las normas secundarias de calidad ambiental, estos parámetros serán parte de los planes de vigilancia de acuerdo con las necesidades identificadas en los

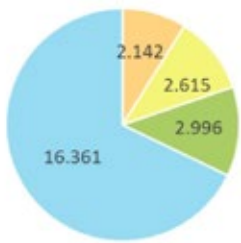
4. Esta estadística no considera las estaciones de la red mínima de lagos.

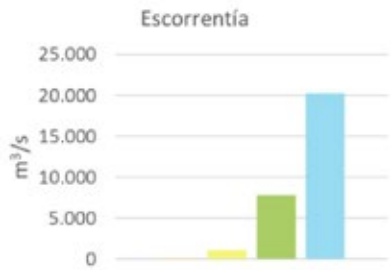
5. ISO/IEC 17025 – Testing and calibration laboratories, *"permite a los laboratorios demostrar que operan de manera competente y generan resultados válidos, promoviendo así la confianza en su trabajo a nivel nacional y en todo el mundo"*, https://www.iso.org

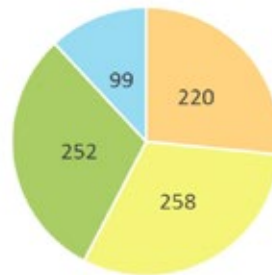
Figura 1. Distribución de red de monitoreo de calidad de aguas de la DGA y descripción general de las cuatro macrozonas definidas por la DGA











Estaciones de monitoreo de calidad del agua: 829
101 cuencas en 756.102 km², con 1.251 ríos, 12.748 lagos y lagunas, 24.114 glaciares
Precipitación (mm/año); Nacional: 1.525, Norte: 87, Centro: 943, Sur: 2.420, Austral: 2.963. Distribución no equitativa del recurso a lo largo del país
Escorrentía promedio: 29.245 m³/s
Escorrentía promedio per cápita: 51.218 m³/habitante/año

Macrozona Norte	Macrozona Centro	Macrozona Sur	Macrozona Austral
12: Lluta	51: Petorca*	81: Itata	113: Aisén
21: Loa	52: Ligua*	83: Biobío	122: Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente
30: Endorreica*	54: Aconcagua	91: Imperial	
34: Copiapó	57: Maipo	94: Toltén	
38: Huasco	60: Rapel	101: Valdivia	125: Costeras entre Lag. Blanca y Magallanes
41: Los Choros*	71: Mataquito	103: Bueno*	
43: Elqui	73: Maule		
45: Limarí			
47: Choapa			

Fuente: elaboración propia sobre la base del *Atlas del Agua* (DGA, 2016) y censo 2017. Disponible en: https://www.censo2017.cl/
Nota: Las cuencas seleccionadas en Figura 2 se listan y destacan en el mapa. Cuencas adicionales presentadas en las Tabla 4 y 5 se indican con asterisco.

cuerpos de agua regulados, consistente con el concepto de parámetro de monitoreo progresivo.

Otras fuentes de información de calidad del agua de instituciones públicas

a. **Planes de vigilancia asociados a las normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) de aguas.** Las NSCA buscan la protección o conservación del medio ambiente. Para ello determinan áreas de vigilancia donde se realiza monitoreo sistemático de parámetros específicos sobre una red de control y también definen una red de observación complementaria para evaluar el desempeño de las NSCA. Los planes de vigilancia asociados a las NSCA son generados por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA). Estos son ejecutados por la DGA y forman parte de la base de datos de calidad del agua. Si los informes anuales determinan que la norma no se cumple, se declara zona saturada y se establece un plan de descontaminación, mientras que, si un parámetro cumple y está bajo el límite establecido, pero sobrepasa 80% de dicho valor, el área se declara zona latente y se establece un plan de prevención. Actualmente se encuentran vigentes las NSCA de las siguientes cuencas: Serrano (2010), Llanquihue (2010), Maipo (2014), Villarrica (2013) y Biobío (2015), mientras que están en elaboración las de Aconcagua, Mataquito, Elqui, Rapel, Huasco y Valdivia.[6]

b. **Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).** Un amplio rango de proyectos de inversión nuevos o sus modificaciones deben pasar por un análisis de impacto ambiental.[7] Aquellos que pueden tener impactos potenciales sobre la calidad del agua requieren el establecimiento de una línea base de los sistemas potencialmente impactados en la situación sin proyecto y un plan de monitoreo durante la implementación y operación. Esta información está públicamente disponible en el expediente electrónico de la evaluación de cada proyecto en el SEIA y a través de los expedientes de la SMA, encargadas del seguimiento de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) definidas al término de la evaluación en el SEIA.

c. **SISS.** Fiscaliza las concesiones de servicios sanitarios que operan en áreas urbanas, controlando el cumplimiento de los estándares de calidad de agua potable y de descarga de aguas servidas tratadas. También fiscaliza el cumplimiento de la norma de descarga de residuos líquidos a aguas continentales superficiales y aguas marinas.

4. Macrotendencias de parámetros de calidad del agua a lo largo de Chile

El trabajo de Vega *et al*. (2018) realiza un análisis de tendencias de parámetros de calidad del agua y las secciones siguientes lo usan como base para discusión. En este estudio se integran datos de estaciones en distintos afluentes por cuenca desde los años 80, así como datos provenientes de distintos años, de modo que no necesariamente reflejan una calidad actual, como se constata en parámetros impactados positivamente por mejoras en el saneamiento.

Aguas superficiales: ríos y esteros

La **Figura 2** presenta una síntesis gráfica de la calidad de aguas superficiales en ríos y esteros de cuencas seleccionadas usando la base de datos de calidad de agua de la DGA y la metodología de Vega *et al.,* (2018).

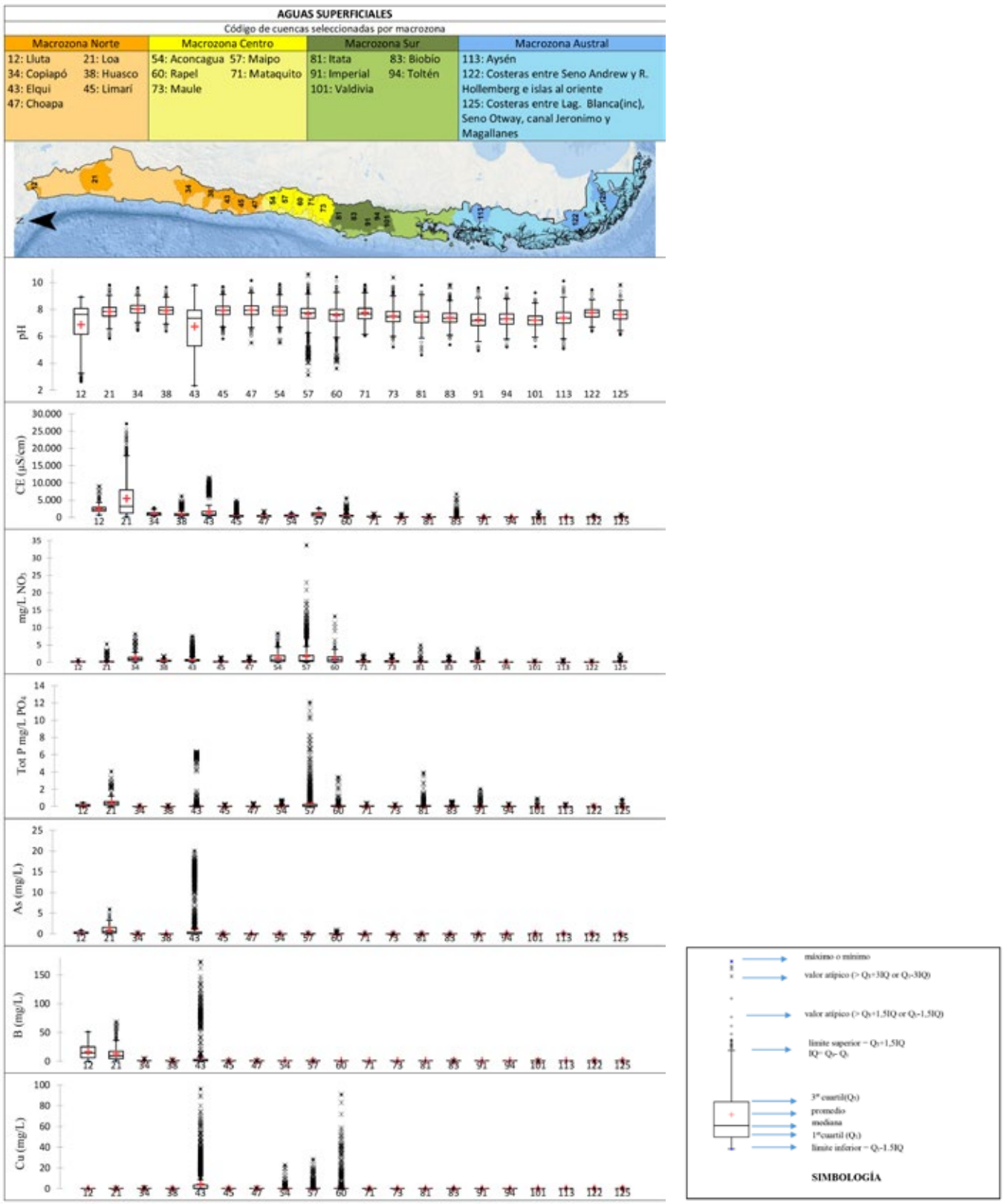
Los valores del pH varían en general entre 6,5 y 8,5, con dos cuencas en la Macrozona Norte con valores excepcionalmente bajos que se han asociado a drenaje ácido presente en las cuencas del río Lluta (Guerra *et al*., 2016a; Guerra *et al*., 2016b; Leiva *et al*., 2014) y del río Elqui (Espejo *et al*., 2012; Flores *et al*., 2017; Oyarzun *et al*., 2013; Oyarzun *et al*., 2012; Ribeiro *et al*., 2014).

La conductividad eléctrica en general presenta una tendencia desde valores elevados en la Macrozona Norte hasta valores excepcionalmente bajos en las Macrozonas Sur y Austral. En la Macrozona Norte existen valores sobre 15 mS cm^{-1}, por ejemplo,

6. La NSCA de la cuenca del río Valdivia estuvo vigente desde diciembre de 2014 a septiembre de 2016, pero fue anulada después de un recurso de reclamación presentado ante el Tribunal Ambiental. Su elaboración fue reanudada y a diciembre de 2017 se encuentra en proceso de consulta pública.

7. Qué proyectos ingresan es establecido por La Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente de 1994 y su reglamento.

Figura 2. Síntesis gráfica de calidad de aguas superficiales en cuencas seleccionadas



Fuente: elaboración propia sobre la base a datos de la DGA.

en el río Salado en la cuenca del río Loa, que recibe las aguas provenientes del campo geotermal El Tatio, una fuente importante de arsénico y boro (Dadea *et al*., 2001; Romero *et al*., 2003). La cuenca del río Lluta también presenta altos valores de conductividad eléctrica, arsénico y boro. Aunque los enriquecimientos minerales andinos continúan hacia la Macrozona Centro, los aportes de sales disueltas y metales son diluidos por condiciones hidrológicas más favorables como en las cuencas de los ríos Aconcagua (Gaete *et al*., 2007), Maipo-Mapocho alimentado por el estero Yerba Loca (Montecinos *et al*., 2016; Pasten *et al*., 2015; Segura *et al*., 2006), Rapel (Pizarro *et al*., 2003) y Mataquito (Tapia *et al*., 2009). En general, la alta concentración de sales disueltas en cuencas del norte se debe a una combinación de la alta evaporación con fuentes hidrotermales, drenaje ácido y el afloramiento de aguas subterráneas salobres. Más adelante, se presenta y discute en forma más detallada, el caso del arsénico en las cuencas de los ríos Lluta, Loa y Elqui, como casos de enriquecimiento por metales y metaloides desde aportes naturales y fuentes asociadas a la minería. Hacia el sur el marco geológico cambia, los afluentes salobres disminuyen y la escorrentía pluvial y nival aumenta, generando corrientes con menores concentraciones de sales disueltas.

Las concentraciones medias de nitrato son altas para tres cuencas de la Macrozona Centro (Aconcagua, Maipo y Rapel), y tres cuencas de la Macrozona Norte (Copiapó, Huasco y Elqui). En un rango menor, tres cuencas de la Macrozona Sur (Itata, Biobío e Imperial) presentan enriquecimiento respecto a otras cuencas más al sur (Toltén y Valdivia). El enriquecimiento de nitrato en aguas se asocia a contaminación difusa en zonas urbanas y a prácticas agroindustriales y ganadería (*e.g.*, Fernandez *et al*., 2017; Fuentes *et al*., 2014; Ribbe *et al*., 2008).

Las concentraciones de DQO[8] muestran valores elevados en la cuenca del río Maipo debido a descargas históricas de aguas servidas no tratadas o mínimamente tratadas, principalmente al río Mapocho, previo al plan de saneamiento de los 90 (Pflieger, 2008). El cambio dramático generado por este plan ha posibilitado iniciativas previamente impensadas, como el Proyecto Mapocho 42K, que acerca el cauce del río Mapocho a la población urbana. Éste consiste en un sistema de parques integrados con ciclo-paseo a las orillas del río (Iturriaga *et al*., 2013).

Aguas superficiales: lagos, lagunas y embalses

Los resultados de la DGA para 20 lagos muestran que existen 3 lagos en condición de mesotrofia y 2 en condición de hípereutrofia, siendo los restantes todos oligotróficos (Dirección General de Aguas, 2016).

Existe evidencia contundente de que en algunos lagos y embalses en Chile se produce enriquecimiento de metales y metaloides (*e.g.*, Contreras *et al*., 2015; Galleguillos *et al*., 2008; Pizarro *et al*., 2003; Pizarro *et al*., 2009). El análisis de columnas de sedimentos en lagos y embalses puede entregar un registro histórico de fuentes de contaminación, así como entregar evidencia de los procesos de transferencia de contaminantes entre los sedimentos y la columna de agua en ambientes rurales y urbanos (*e.g.*, Hansen, 2012; Thapalia *et al*., 2010; Yang & Rose, 2003). En particular, es importante reconocer los nexos entre los flujos de metales desde los sedimentos hacia la columna de agua (*e.g.,* gradientes de óxido-reducción que pueden disolver reductivamente óxidos de hierro u oxidativamente sulfuros) con los ciclos de los nutrientes, materia orgánica, condiciones hidrológicas y descargas de residuos (*e.g.*, Tapia & Audry, 2013; Vega *et al*., 2017).

Aguas subterráneas

La conductividad eléctrica sigue una tendencia decreciente de norte a sur, al igual que el boro y el cloruro. Las cuencas áridas del norte se caracterizan por la presencia de ambientes con alta evaporación, que funciona como mecanismo concentrador de sales, lo cual unido a la evapotranspiración generada por la agricultura se asocia a altas conductividades (*e.g.,* Lluta, San José, Loa, Copiapó, Huasco). Se ha establecido que las aguas de los acuíferos en las zonas desérticas como la Pampa del Tamarugal (cerca de Iquique) obedecen a patrones de circulación regionales que trae agua desde el noreste al sudoeste, pasando por ambientes salinos, mientras que aguas

8. Demanda Química de Oxígeno. Medida agregada de la concentración de compuestos orgánicos, cuya degradación genera un consumo de oxígeno disuelto, y que se expresa como demanda de oxígeno (mg O_2 L^{-1}). El valor de la DQO puede ser visto como una "deuda" de oxígeno.

de poca salinidad pueden aparecer producto de zonas de fallas (Magaritz *et al*., 1990).

El arsénico presenta registros sobre los 10 µg L^{-1} [9] en aguas subterráneas de las Macrozonas Norte y Centro (acuíferos de la zona norte de Santiago). Esto ha obligado a que algunas empresas sanitarias y APR deban implementar sistemas de remoción de arsénico por adsorción, coagulación con cloruro férrico seguido por filtración y osmosis inversa (*e.g*., Aracena & Muñoz, 2017; SISS, 2013).

El nitrato y las sales disueltas en la Macrozona Norte provienen de una combinación de formaciones geológicas y ambientes hidrológicos áridos, mientras que en las Macrozonas Centro y Sur estarían asociados localmente con contaminación urbana y contaminación agrícola difusa (Arumi *et al*., 2005; Donoso *et al*., 1999; Fernandez *et al*., 2017; Fuentes *et al*., 2014; Yevenes *et al*., 2016). Las altas concentraciones de sulfato, cloruro, nitrato y/o arsénico en las Macrozonas Norte y Centro impone un desafío de sostenibilidad en la producción de agua potable de ciudades del norte de Chile (*e.g.*, Arica, Iquique, Copiapó, entre otras), donde se requiere invertir en tecnologías que demandan uso de energía y reactivos para alcanzar los límites establecidos en la norma de calidad de agua potable.

5. Procesos de contaminación y descontaminación a escala regional

Metales en cuencas de las Macrozonas Norte y Centro de Chile

Las cuencas del centro y norte de Chile están permanente expuestas a la contaminación natural y antropogénica de sus aguas. Un ejemplo de la primera es el alto nivel de arsénico, que ha afectado a poblaciones desde épocas remotas, como se ha demostrado en análisis de restos momificados de la cultura Chinchorro (7000-2000 años AC) (Bundschuh *et al*., 2012). Un ejemplo de la segunda es la intensa actividad minera del norte, generadora de riqueza y progreso nacional, pero a la vez un factor de preocupación por la potencial contaminación debido a descargas accidentales y difusas en aguas superficiales y acuíferos con impacto en la salud de los habitantes y deterioro de ecosistemas acuáticos y terrestres, así como la generación de desechos ricos en metales.

En un análisis de calidad del agua de diversos ríos del norte y centro de Chile (Pizarro *et al*., 2010b), se destaca que en el río Elqui, la concentración promedio de arsénico de las últimas décadas es 1.705 µg L^{-1}, valor que supera ampliamente el nivel establecido por la Norma Chilena sobre requisitos de calidad del agua para riego (NCh1333.Of78). Este alto valor se atribuye al desarrollo de la minería de oro en la cuenca, actividad intensiva desde la década de los 80. Dicho estudio muestra a otros 6 ríos que presentan concentraciones promedio de arsénico superiores a la recomendada por esta norma: cuencas endorreicas > Copiapó > Petorca > Los Choros > Aconcagua > Rapel. Las concentraciones de algunos metales también destacan por exceder esta norma (**Tabla 4**).

La escasez hídrica de las zonas norte y centro y la disminución de precipitaciones derivada del cambio climático tiende a agravar la disponibilidad de agua tanto en calidad como en cantidad, afectando las actividades que se desarrollan en la cuenca. Estas condiciones plantean la necesidad de implementar programas de monitoreo de las aguas que consideren la cuantificación de contaminantes emergentes, mejoramiento de la frecuencia de muestreo, intensificación de estudios del efecto de la contaminación de metales pesados en la cadena alimenticia y la biodiversidad de la flora y fauna locales.

Nutrientes y eutrofización en cuencas de las Macrozonas Centro y Sur de Chile

La concentración de nitrógeno y fósforo se ha incrementado 6 y 9 veces, respectivamente, desde la época previa a la industrialización, en los principales ríos del mundo (Boyer *et al*., 2006; Dumont *et al*., 2005; Meybeck, 1982; Smith *et al*., 2003; Smith, 2002). Los ríos de las zonas centro y sur de Chile no escapan a esta tendencia. El creciente aporte de nitrógeno y fósforo afecta la calidad del agua y acrecienta el proceso de eutrofización. Dependiendo de la cuenca, estos nutrientes provienen de actividades forestales, agrícolas, vitivinícolas y ganaderas, actividades que se han incrementado fuertemente en las últimas décadas. Estos ríos son importantes en la disponibilidad hídrica para la zona, con caudales controlados por la precipitación anual de lluvias y

9. Límite recomendado para arsénico en agua potable por la OMS y límite máximo establecido por NCh409 /1.Of. 2005.

el derretimiento de nieves y glaciares durante el periodo de primavera-verano.

Los promedios históricos de concentración de nitrógeno y fósforo de algunas cuencas en la zona se presentan en la **Tabla 5.** El uso de modelos estadísticos permitió concluir que la concentración de nitrógeno y fósforo ha aumentado en las últimas décadas en 6 (BioBío, Bueno, Imperial, Maule, Rapel y Valdivia) y 2 (Rapel y Maule) de las cuencas analizadas, respectivamente (Pizarro *et al.*, 2010a). La concentración promedio de nitrógeno en el río Rapel es la más elevada debido a la intensa actividad de industrias agroalimenticias, agrícolas y al fuerte incremento del turismo en la zona y densidad poblacional. Sin embargo, el mayor incremento lo presentan los ríos Biobío, Bueno, y Valdivia, cuyos niveles de concentración del estudio no muestran incremento en los primeros años, pero experimentan una fuerte variación en los 10 años finales analizados. La concentración de fósforo sólo muestra un incremento en la última década en los ríos Rapel y Maule, mientras los ríos Biobío, Itata y Valdivia presentan cierta estabilidad en la concentración de fósforo. Sin embargo, en el río Itata se evidencia un incremento que podría explicarse por el desarrollo forestal alcanzado en la cuenca durante la década 1990-2000. Se debe observar la evolución de estos nutrientes que podrían permitir detectar los efectos del crecimiento poblacional y el impacto provocado por las actividades agroindustriales, ganaderas, forestales y turísticas en la zona estudiada.

También se debe considerar el comportamiento de la calidad del agua en los lagos de esta zona, cuerpos de agua que se relacionan íntimamente con

Tabla 4. Promedio histórico de concentraciones en 12 ríos de las zonas Norte y Centro de Chile. Datos DGA, durante 21 años (1987-2008)

Cuencas	As ($\mu g\ L^{-1}$)	Cu ($\mu g\ L^{-1}$)	Cr ($\mu g\ L^{-1}$)	Hg ($\mu g\ L^{-1}$)	Cd ($\mu g\ L^{-1}$)	Mo ($\mu g\ L^{-1}$)	Pb ($\mu g\ L^{-1}$)	SO_4^{2-} ($mg\ L^{-1}$)
Endorreicas	**814**	**2.440**	28	**9**	**26**	**60**	ND	236,3
Copiapó	**483,6**	77	60	**148**	**77**	**60**	148	**483,6**
Huasco	10	123	31	**6**	**93**	**60**	292	**360,2**
Los Choros	**175,6**	ND	60	**817**	ND	**60**	817	175,7
Elqui	**1.705**	**6.082**	26	**3**	**28**	**70**	147	**445,7**
Limarí	6	41	30	**3**	**35**	**60**	60	77,1
Choapa	14	78	25	**4**	**43**	**138**	63	110,6
Petorca	**182**	43	54	**3**	ND	**63**	ND	52,8
Ligua	54,4	ND	68	ND	ND	**68**	ND	54,4
Aconcagua	**132**	**789**	25	**87**	ND	**175**	80	115,1
Maipo	12	**1.293**	55	**9**	**35**	**463**	167	215,6
Rapel	**119,3**	45	**215**	**281**	**45**	**215**	281	119,3
NCh1333.Of78	100	200	100	1	10	10	5.000	250

Fuente: Adaptado de Pizarro *et al.*, 2010b. ND: no disponible; en negritas, excedencias respecto de NCh1333.Of78 para riego. Los valores presentados corresponden a los reportados en la fuente. La metodología empleada para calcular los valores de la Figura 2 entrega concentraciones características menores (por ejemplo, en Copiapó se obtiene en promedio 0,02 y <0,01 $mg\ L^{-1}$ para As y Hg respectivamente).

Tabla 5. Promedio de concentración anual de NO_3^--N y PO_4^{3-}-P de 9 ríos de las zonas Centro y Sur de Chile. Datos DGA de 23 años

Ríos	Rapel	Mataquito	Maule	Itata	Biobío	Imperial	Toltén	Valdivia	Bueno
NO_3^--N ($mg\ L^{-1}$)	1,57	0,55	0,49	0,35	0,21	0,4	0,11	0,31	0,18
PO_4^{3-}-P ($mg\ L^{-1}$)	0,23	0,29	0,24	0,41	0,15	0,23	0,23	0,1	0,12

Fuente: Adaptado de Pizarro *et al.*, 2010a.

los ríos, ya sea porque estos últimos son tributarios o son la descarga natural formando ríos que desembocan en el mar. Los lagos son testigos de las actividades de la cuenca y proveen información de los cambios biogeoquímicos provocados por perturbaciones naturales o antropogénicas, y las aguas de los efluentes que forman son el medio de transporte que influye en el destino final de los productos de dichos cambios. Los lagos de la zona son monomícticos y oligotróficos con bajos niveles de clorofila y alta transparencia (Soto, 2002; Soto & Campos, 1995). La concentración de nitrógeno y fósforo, en las dos últimas décadas, en lagos cuyas cuencas no han sufrido cambios significativos en el uso de suelo y con tendencia a mantener el bosque nativo, muestran variaciones muy bajas, mientras que aquellos donde la cuenca se ha visto más intervenida como resultado del incremento de actividades forestales, turísticas y/o agrícolas, tienden a aumentar estos nutrientes (Pizarro *et al*., 2016), lo que podría acelerar el proceso de eutrofización que naturalmente sufren los lagos.

Finalmente, la variación de la concentración de nutrientes en los ríos no presenta diferencias sustanciales con la concentración de éstos en los principales ríos del mundo. No se descarta que, de continuar el incremento en las aguas, en un futuro cercano los ríos podrían adquirir la condición de sistemas contaminados. Especial atención se debería tomar en el manejo y planificación de las actividades en las cuencas de los lagos que, si bien en la actualidad se les considera como sistemas oligotróficos, una rápida expansión de la agricultura, crianza de ganado y turismo intensivo podrían aportar aguas con exceso de nutrientes que aceleren el proceso de degradación, el cual en la actualidad está relativamente controlado. Estos estudios podrían servir de referencia para futuros programas de monitoreo y proyectos de mitigación de la contaminación a nivel de cuenca.

6. Procesos de contaminación y descontaminación a escala local: el caso del arsénico en tres cuencas andinas

El arsénico es un elemento tóxico movilizado a través del agua, suelo y aire de manera antrópica y natural. Su principal origen está en los yacimientos geológicos ricos en elementos de interés económico, cuya explotación ha acelerado la disponibilidad de arsénico. Adicionalmente, las fuentes naturales hidrotermales asociadas a la actividad volcánica constituyen importantes aportes de arsénico. A continuación, se presentará la dinámica del arsénico en tres cuencas ubicadas en zonas áridas o semiáridas del norte: ríos Lluta, Loa y Elqui (**Figura 1**). Estos casos sirven para dimensionar la complejidad y los desafíos en entender la especiación de los contaminantes, especialmente de metales y metaloides, la que es determinante en su fraccionamiento entre fases sólidas y disueltas que, a su vez, condiciona su biodisponibilidad.

Cuenca del río Lluta

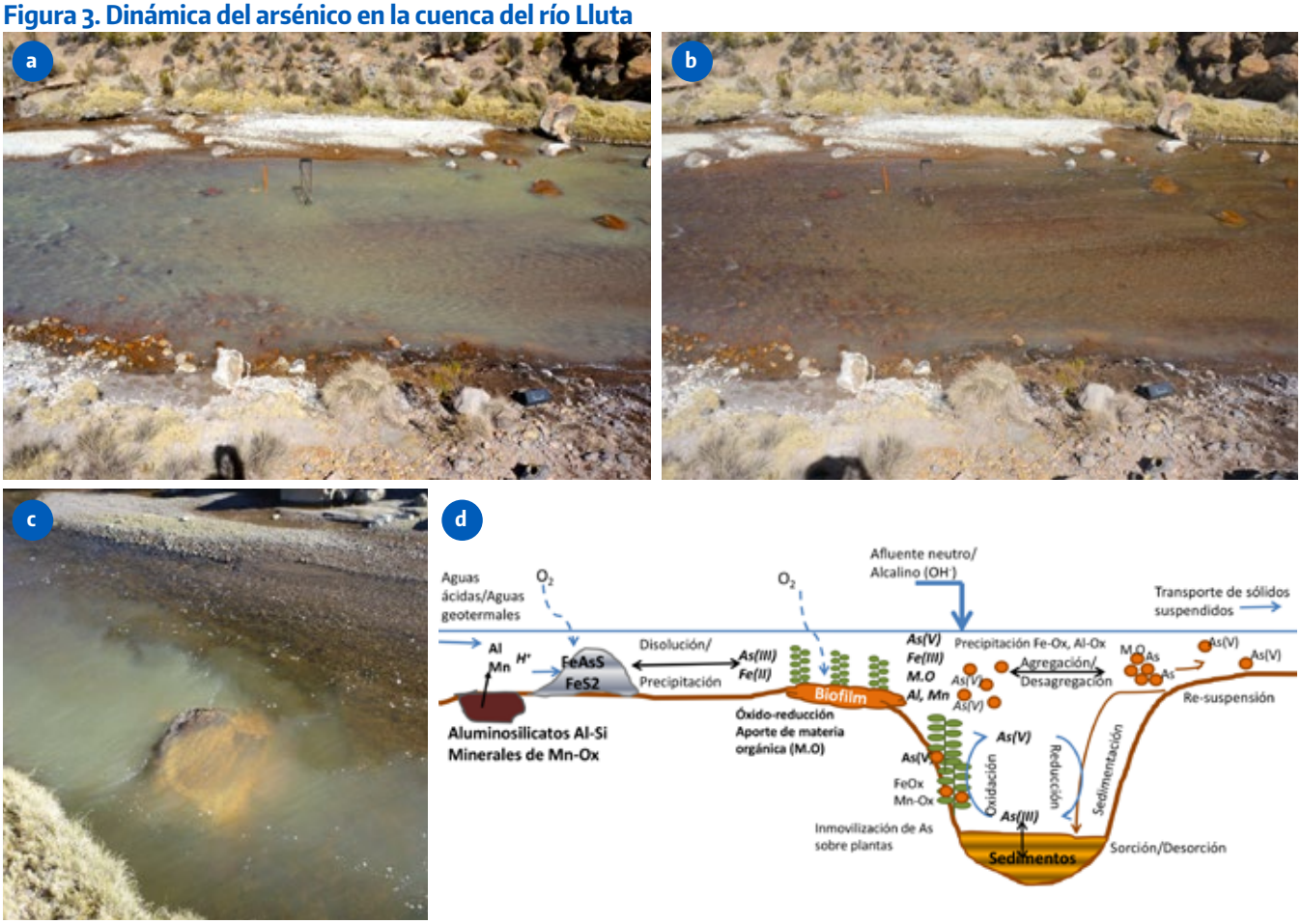
La cuenca tiene su origen en el Volcán Tacora (~5.500 msnm), desde donde emanan fuentes hidrotermales ricas en metales, metaloides y sales (Capaccioni *et al*., 2011). Al costado del volcán se encuentra la Azufrera Tacora, abandonada desde los años 60, donde los depósitos de relaves y rocas expuestos al agua y aire dan origen a una corriente de drenaje ácido denominada río Azufre (Leiva *et al*., 2014). Este afluente, con pH < 2 y concentraciones de arsénico > 2 mg L^{-1}, es la principal fuente de contaminación del agua en la cuenca. La cuenca del río Lluta es un claro ejemplo de la diversidad y complejidad de procesos biológicos, geoquímicos, hidrológicos e hidrodinámicos que controlan el destino y transporte de contaminantes. A 400 m del nacimiento del río Azufre existe un humedal donde ocurren procesos biogeoquímicos que modifican la especiación de arsénico (Leiva *et al*., 2014); *e.g.* bacterias extremófilas oxidan el arsénico de arsenito a arsenato, especie menos tóxica y que tiene mayor afinidad a sorberse sobre oxi-hidróxidos de hierro, presentes en el humedal como lodos anaranjados (Leiva *et al*., 2014). Gracias a estos procesos locales el arsénico disuelto disminuye prácticamente en su totalidad en unos pocos metros. La comprensión de estos procesos es esencial para conocer los determinantes de la calidad del agua, entregando un punto de control fundamental para mejorar o proteger el recurso.

En la confluencia del río Azufre con el río Caracarani (pH 8,6) ocurre una serie de interacciones geoquímicas, hidrológicas e hidrodinámicas

que promueven la formación de oxi-hidróxidos de hierro y aluminio, modificando el fraccionamiento disuelto y sólido del arsénico (Abarca *et al*., 2017; Guerra *et al*., 2016a; Guerra *et al*., 2016b). Estos precipitados tienden a sedimentar en el lecho del río, reduciendo la concentración de arsénico y metales en el agua: 100 m aguas abajo de la confluencia, el arsénico total disminuye a la mitad. Se han medido concentraciones de arsénico entre 90-900 mg kg^{-1} en los depósitos del lecho del río Caracarani, muy superior al rango basal en sedimentos (5-10 mg kg^{-1}) (Smedley & Kinniburgh, 2002). Este ejemplo muestra que existen procesos de atenuación natural en los sistemas fluviales, donde el muestreo de sedimentos puede reflejar si el lecho es un repositorio o una fuente de contaminantes.

Este proceso de atenuación en la confluencia puede verse modificado por la presencia de otros elementos y variaciones locales y temporales de caudal. Estudios en el mismo sitio muestran que: (1) la presencia de materia orgánica (presente en sistemas naturales como sustancias húmicas) aumenta el tamaño de los precipitados de oxi-hidróxidos, incrementando así las velocidades de sedimentación y mejorando la remoción de arsénico (Arce *et al*., 2017), (2) variaciones horarias de caudal debido a ciclos de congelamiento-descongelamiento provoca variaciones del arsénico disuelto (Guerra *et al*.,

Figura 3. Dinámica del arsénico en la cuenca del río Lluta



(a) y (b) Cambio en la concentración de partículas en suspensión por descongelamiento en el río Azufre La figura (a) muestra las partículas antes del descongelamiento aguas arriba; (b) muestra cómo las partículas se disuelven cuando el río Azufre, afluente ácido, se descongela; (c) la mezcla incompleta causa la formación de distintas partículas, que se distribuyen de manera heterogénea; (d) diagrama conceptual de procesos reguladores del destino del arsénico. El arsénico es liberado por procesos naturales (e.g. fuentes hidrotermales) o la oxidación de residuos mineros (e.g. sulfuros), puede ser posteriormente inmovilizado/movilizado por diversos procesos físicos y químicos. Fuente: a, b y c, fotos propias; d, elaboración propia.

2016b). Cuando se descongela el río Azufre, se produce disolución de los sólidos suspendidos (**Figuras 3a y 3b**), mientras que el aumento de caudal del río Caracarani, horas más tarde, diluye las sales y aporta iones OH- para la precipitación de fases minerales de hierro, (3) la mezcla heterogénea que se produce en la vecindad de la confluencia (**Figura 3c**) genera puntos locales que favorecen la precipitación de fases de hierro y retención de arsénico debido al pH y concentraciones de hierro (Guerra *et al*., 2016a), y (4) el tamaño de partícula también aumenta o disminuye según cómo migran las partículas de un ambiente químico a otro, determinando de esta forma si el arsénico permanece suspendido en fase acuosa o sedimenta sobre el lecho, según sea el tamaño de partícula alcanzado (Abarca *et al*., 2017). El modelo conceptual de estos procesos se muestra en la **Figura 3d**, que se discute en detalle más adelante.

Más aún, la infraestructura hidráulica también puede impactar el destino de estos contaminantes. Modelos han predicho que la acumulación de sedimentos ricos en arsénico en ambientes anaerobios puede llevar a la liberación de especies reducidas de arsénico, como podría ocurrir en el embalse Chironta (Contreras *et al*., 2015), actualmente en construcción en el río Lluta (unión del río Caracarani con el río Colpitas). Sin embargo, la presencia de azufre en ambientes anóxicos puede contribuir a la inmovilización de arsenito sobre fases sulfuradas como la mackinawita (FeS) (Vega *et al*., 2017).

Además de resaltar la importancia de entender los procesos locales en nodos críticos del sistema, el caso del río Lluta muestra las interacciones hidrológicas e hidrodinámicas, con consecuencias específicas para la interacción entre las obras de infraestructura hidráulica y la calidad del agua.

Cuenca del río Loa

El río Loa atraviesa el desierto de Atacama, el más árido del mundo, y constituye el único afluente de aguas superficiales permanente de la Región de Antofagasta. Sus principales tributarios son los ríos Salado, San Pedro y San Salvador. Su agua tiene un uso restringido debido a su pobre calidad (alta salinidad y altas concentraciones de boro y arsénico), especialmente en las cercanías de Antofagasta, situación que se intensifica dada la baja disponibilidad del recurso hídrico y aridez de la región.

La presencia de arsénico en la cuenca se debe principalmente a dos factores: (1) la cuenca está inserta en el cinturón de pórfido cuprífero, donde los yacimientos de Chuquicamata, El Abra y Radomiro Tomic contribuyen al flujo de arsénico debido a la meteorización de los depósitos y a la presencia de relaves mineros (Pell *et al*., 2013), y (2) el afluente río Salado nace en las fuentes geotermales de El Tatio, que presenta concentraciones de arsénico que superan los 20 mg L^{-1} (Landrum *et al*., 2009). Al igual que el río Lluta, existe una serie de procesos biogeoquímicos que controlan la especiación de arsénico en El Tatio. Uno de ellos es la inmovilización del arsénico tanto por la presencia de oxi-hidróxidos de hierro, como por la precipitación de minerales similares a la loellingita ($FeAs_2$) (Alsina *et al*., 2014).

La unión del río Salado con el río Loa en la parte alta de la cuenca también provoca una disminución del arsénico, principalmente por efectos de dilución (Romero *et al*., 2003). Sin embargo, desde la parte alta hasta su desembocadura, su concentración se mantiene dentro de un rango acotado de 1-2 mg L^{-1}, lo que se atribuye a condiciones que no favorecen la adsorción de arsenato y a la falta de tributarios que contribuyan a la dilución de arsénico, sumado a los altos índices de evaporación (Orellana, 1985; Romero *et al*., 2003). Adicionalmente, el río San Salvador tributa al río Loa en la parte media de la cuenca, aportando también con arsénico al sistema (Romero *et al*., 2003). Las plantas y algas son importantes para la formación de repositorios de arsénico (Bugueño *et al*., 2014; Pell *et al*., 2013). Éstas pueden acumular arsénico, llegando incluso a concentraciones entre 182 y 11.000 mg kg^{-1} de arsénico en el caso de la especie hiperacumuladora *Chladophora* sp. (Pell *et al*., 2013). Además, pueden favorecer la acumulación de arsénico en sedimentos, como ocurre en el oasis Quillagua, rico en plantas acuáticas y materia orgánica, el cual presenta un alto enriquecimiento de arsénico en sedimentos en comparación al Tranque Sloman, que carece de macrófitas y presenta un bajo contenido de materia orgánica (Bugueño *et al*., 2014).

Altas concentraciones de arsénico en la cuenca han sido causa de graves problemas de salud en la población (Ferreccio & Sancha, 2006; Smith *et al*., 2011). Esto ha forzado la instalación de plantas de tratamiento como la Planta del Cerro Topater. La planta desalinizadora de agua de mar ha sido vital

para abastecer a la región de agua potable de buena calidad, en suficiente cantidad y libre de arsénico para las personas, asumiendo el incremento en el costo del agua al utilizar este tipo de tecnología.

Cuenca del río Elqui

La cuenca del río Elqui, en la Región de Coquimbo, es un sistema geoquímicamente complejo donde la composición del agua y de los sedimentos está fuertemente dominada por la actividad hidrotermal y por el legado de la zona minera de El Indio, una zona químicamente reactiva que produce drenaje ácido con altas concentraciones de contaminantes (*e.g.* As > 1 mg L^{-1}) (Oyarzun *et al*., 2013). Además, la erosión de relaves en el área minera de Talcuna es otra fuente de sedimentos reactivos con altas concentraciones de contaminantes (hasta 340 mg kg^{-1} de arsénico), los que entran ocasionalmente a la red de drenaje en periodos de crecida.

Al igual que en los ejemplos presentados anteriormente, a lo largo de la cuenca existen procesos que aportan a la disminución de los niveles de metales y arsénico disueltos, principalmente debido a la dilución del flujo originado en la zona de El Indio con otros tributarios como los ríos La Laguna, Incaguaz, Estero Estrecho y Claro, que son afluentes de buena calidad (Flores *et al*., 2017). Por ejemplo, al juntarse el río Turbio con el río Claro (dando origen al río Elqui), las concentraciones de arsénico se encuentran en el rango de 0,01-0,1 mg L^{-1} de arsénico, con un pH en torno a 8 (Espejo *et al*., 2012; Flores *et al*., 2017; Oyarzun *et al*., 2013).

Modelo conceptual para el destino y transporte de arsénico en ambientes andinos

El arsénico en sistemas andinos proviene principalmente de aguas ácidas producidas por la exposición de depósitos mineros y relaves fracturados a agua y oxígeno, como también desde aguas geotermales. Los ejemplos presentados anteriormente dan cuenta de la existencia de una serie de procesos que contribuyen a la atenuación o enriquecimiento de la concentración de arsénico a lo largo de ellas, entre los que se encuentran procesos físicos de sedimentación-resuspensión y reacciones químicas de óxido-reducción, de precipitación-disolución de fases minerales y de adsorción-desorción, los cuales además pueden ser afectados por condiciones hidrológicas e hidrodinámicas, la presencia de otros componentes químicos y la biota, lo que se sintetiza en el diagrama conceptual de la **Figura 3d**.

Este modelo conceptual demuestra claramente la complejidad de la dinámica de contaminantes en sistemas fluviales, de modo que las metodologías de control y muestreo deben considerar más variables y, en algunos casos, una atención especial a la extensión espacial y temporal, para captar de manera adecuada lo que ocurre en cada sitio y poder establecer las medidas de control más adecuadas. Asimismo, este modelo es la base para la generación de modelos que en el futuro permitan evaluar el impacto de obras hidráulicas, alteración en los patrones hidrológicos, o el efecto de otros contaminantes que puedan ingresar al sistema (*e.g.*, nutrientes), revelando así conexiones entre obras de infraestructura, actividades socioeconómicas y la calidad del agua.

7. Gestión de la calidad del agua y desafíos

Aspectos institucionales y normativos

Son varias las instituciones del Estado con competencias y ámbitos de acción relevantes para la gestión de la calidad del agua. En forma directa son 8 (instituciones ambientales indicadas arriba más la DGA y la SISS), existiendo otras instituciones con injerencia en temas de gestión del agua en distintos contextos como la Autoridad Sanitaria del Ministerio de Salud, entre otras. La institucionalidad ambiental fue definida a partir de la Ley 20.417 de 2010 (Ministerio del Medio Ambiente, 2015). Instituciones como la DGA y la SISS juegan roles específicos como la cuantificación de calidad y cantidad del recurso hídrico y la gestión del sistema de concesiones sanitarias, respectivamente.

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) define e implementa los lineamientos políticos y regulatorios, incluyendo aspectos de conservación y desarrollo sostenible, bajo los lineamientos del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS) que propone las políticas al Presidente de la República. Una de sus funciones es gestionar los proyectos de normas, incluyendo las normas secundarias de calidad del agua. El SEA se encarga de administrar el SEIA, un sistema que busca prevenir el deterio-

ro ambiental por proyectos públicos y privados. La evaluación de los proyectos y los actos administrativos del SEIA se encuentran públicamente disponibles y constituyen una fuente importante de información ambiental. Los proyectos que realizan un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y que son aprobados por el SEIA generan una RCA que describe al proyecto aprobado y lista las condiciones aprobadas para su operación. Los recursos de reclamación contra las exigencias establecidas en un EIA son vistas por el Comité de Ministros. La SMA se encarga de la fiscalización y sanción de los incumplimientos de carácter ambiental, por ejemplo, revisando que se cumplan los términos establecidos en las RCA. Finalmente, los Tribunales Ambientales dependientes de la Corte Suprema son encargados de resolver las controversias ambientales. Por ejemplo, recientemente el Tercer Tribunal Ambiental decretó la anulación de la Norma Secundaria de Calidad del Agua del río Valdivia, frente a un recurso presentado por entidades que se consideraron afectadas por esa norma (Tercer Tribunal Ambiental de Chile, 2017). Esto obligó a reanudar el proceso de dictación de la norma, partiendo desde el punto que fue objetado.

La normativa más relevante para la calidad de las aguas considera normas primarias, secundarias y de emisión. Las normas primarias de calidad incluyen norma de calidad de agua para agua potable, riego, aguas minerales y recreación con contacto directo. Las normas secundarias son mucho más recientes (a partir de 2010), e incluyen normas de calidad ambiental de las aguas sólo para dos lagos y la cuenca de tres ríos, encontrándose otras seis en elaboración. Claramente existe un desafío importante para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental de aguas, considerando que la DGA tiene cerca de 100 cuencas en su catastro. Las normas de emisión incluyen limitaciones para la descarga de residuos a aguas superficiales, a las redes de alcantarillado y a las aguas subterráneas. Cabe destacar que existe una norma de emisión específica para el estero Carén –donde El Teniente de la minera estatal Codelco vierte efluentes líquidos–, permitiendo valores de sulfato y molibdeno mayores que para otros lugares del país. La constitucionalidad de esta norma ha sido ampliamente cuestionada, pero el Tribunal Constitucional no acogió el recurso presentado en su contra.

Grandes desafíos para la gestión de calidad del agua

A continuación, se presenta una síntesis de los desafíos que parece necesario abordar para avanzar hacia las metas de la Agenda 2030, desde la perspectiva de los autores. Considerando un enfoque sistémico, algunos de los desafíos se extienden más allá de temas específicos de calidad del agua.

Marco institucional y normativo para una gestión integrada del agua

La fragmentación institucional en la gobernanza del agua en Chile ha sido notoria en el tiempo, con al menos 12 instituciones del Gobierno central que participan en la generación de políticas públicas sobre el agua, el segundo más alto de la región (OECD, 2012). Esta fragmentación ha dificultado el establecimiento de un objetivo común hacia el cual se avance coordinadamente. Sin embargo, en los últimos años se ha avanzado. En 2009 se definió un comité interministerial para coordinar la definición de políticas en temas hídricos (OECD, 2011) y se constituyó el Comité de Ministros del Agua, coordinado por el Ministerio de Obras Públicas y compuesto también por los ministerios de Medio Ambiente, Agricultura, Energía y Minería. Durante 2012 se estableció la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025 (Ministerio de Obras Públicas, 2012), con cinco ejes: gestión eficiente y sostenible, mejorar la institucionalidad, enfrentar la escasez, equidad social y ciudadanía informada. Durante el gobierno siguiente, se definió una Política Nacional de Recursos Hídricos (Ministerio del Interior y Seguridad Pública-Delegación Presidencial para los Recursos Hídricos, 2015) con cuatro ejes: el Estado como agente responsable y participativo, medidas para enfrentar el déficit hídrico, marco regulatorio para los recursos hídricos y fortalecimiento en la participación de las organizaciones sociales. A pesar de tener matices diferentes, estos documentos de política pública reconocen que la multiplicidad de instituciones con injerencia en la gestión de los recursos hídricos es un obstáculo para la coordinación y gestión eficiente del agua, y consecuentemente asignan un rol fundamental a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Sin embargo, ahora es necesario avanzar en medidas vinculantes que implementen efectivamente este concepto a nivel institucional y normativo.

Una iniciativa clave que facilitaría una gestión integrada es el proyecto de ley presentado en 2011,[10] que modifica el Código de Aguas de 1981. Éste establece el sistema de los derechos de agua en Chile, reconocido como uno de los sistemas más promercado del mundo (OECD, 2017). La GIRH es así limitada por la preeminencia de los derechos de aprovechamiento de agua (DA), que revisten características de propiedad privada y que son negociables. Esto limita la capacidad del Estado de establecer una visión coordinada de largo plazo con una perspectiva de bienestar común. También impide que los distintos actores públicos y privados se involucren en la definición de estrategias nacionales para el recurso hídrico y se hagan cargo en su conjunto de los *trade-offs* que implica la GIRH (OECD, 2017). Si bien la normativa contempla la existencia de organizaciones de usuarios, ellas son para secciones de ríos, desconociendo las dinámicas que ocurren a nivel de cuenca y la relación entre aguas superficiales y subterráneas. Recientemente se han estudiado modificaciones al Código de Aguas que buscan reforzar el carácter del agua como bien nacional de uso público, e incluyen aspectos como: limitar la extensión temporal de los DA, limitar el ejercicio de los DA en función del interés público a través de su reducción temporal y redistribución, establecer el consumo humano y el saneamiento como usos prioritarios en el otorgamiento y limitación de los DA, prohibición de otorgar DA en Parques Nacionales y Reservas de Región Virgen y restringir en otras áreas protegidas, permitir a la DGA reducir temporalmente el ejercicio de los DA y exigir la instalación de sistemas de medición, entre otros (Ministerio del Interior y Seguridad Pública-Delegación Presidencial para los Recursos Hídricos, 2015).

Definición de políticas públicas basadas en ciencia para la gestión de la calidad del agua

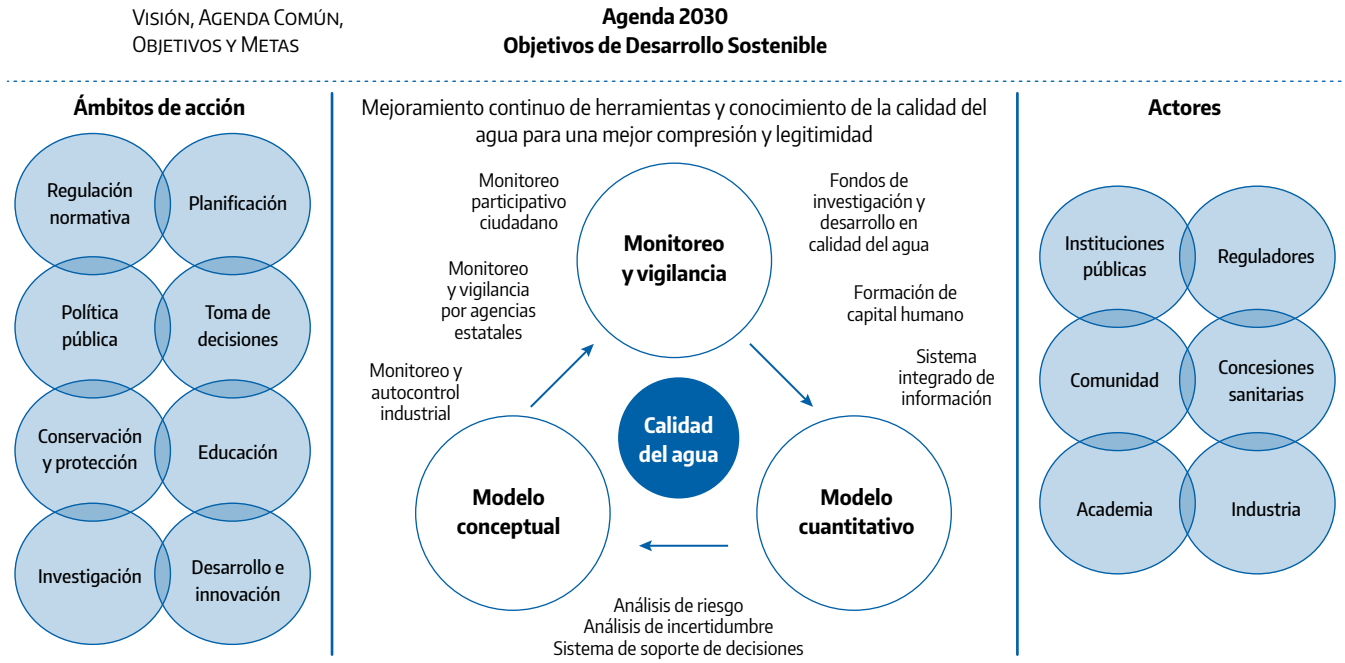
Los procesos físicos, químicos y biológicos que controlan la calidad del agua en sistemas andinos y que determinan el transporte, transformación y destino de contaminantes en sistemas acuáticos son insuficientemente conocidos. Esto es especialmente preocupante en un contexto de cambio global, donde existe una demanda creciente por recursos hídricos, un aumento de la población y un rango amplio de compuestos antropogénicos emitidos al ambiente. Las presiones que afectan la calidad del agua en Chile son múltiples y se distribuyen a lo largo de una variedad de ambientes acuáticos cuyo funcionamiento recién se empieza a conocer.

La calidad del agua es un aspecto central de importantes conflictos sobre recursos hídricos y de las agendas de sostenibilidad, donde intervienen múltiples actores e instituciones. Las interdependencias que se producen en los sistemas socioambientales necesitan que la política pública considere los nexos entre calidad de agua y energía, alimentos, servicios ecosistémicos, patrimonio ambiental y justicia ambiental. La falta de políticas públicas que consideren una GIRH puede afectar el desarrollo sostenible y aumentar la tensión asociada a desarrollos mineros, actividad agrícola y expansión urbana. Esta tensión se ejemplifica actualmente en la cordillera andina de Chile Central, donde las mayores reservas de cobre conocidas en el mundo se encuentran en la cabecera de la cuenca más poblada (Sistema Maipo-Mapocho), cuyos recursos son usados para agua potable y de riego.

La **Figura 4** propone un enfoque para la gestión de la calidad del agua, donde la ciencia juega un rol fundamental como soporte para la toma de decisiones. El mejoramiento continuo del conocimiento y vigilancia de la calidad del agua de nuestros sistemas acuáticos requiere la participación de múltiples actores hacia el logro de una visión común, como la presentada por los ODS de la Agenda 2030. Además, se basa en una retroalimentación continua entre los modelos conceptuales, los modelos cuantitativos y el monitoreo de la calidad del agua, que en su conjunto deberían reflejar la comprensión común del funcionamiento del ambiente. El desarrollo de modelos conceptuales y cuantitativos es la base para lograr una transición desde la "descripción estadística" de la calidad del agua hacia una comprensión más fundamental y, a la vez, operativa de los procesos que la determinan. La visión integrada y sistémica de los procesos constituye una de las bases para construir sistemas adaptativos y resilientes que gestionen adecuadamente riesgos y presiones. La participación de distintos actores (*e.g.* monitoreo participativo ciudadano) en el desarrollo de modelos conceptuales y cuantitativos, así

10. Incluye indicaciones sustitutivas introducidas por el Ejecutivo en 2014. Éstas todavía se discuten en el Congreso a la fecha de elaboración de este documento.

Figura 4. Enfoque propuesto para la toma de decisiones y políticas públicas orientadas a mejorar y proteger la calidad del agua



Fuente: elaboración propia.

como de redes de vigilancia, otorga también mayor legitimidad a los resultados y aporta al desarrollo de un entendimiento común del sistema que debe ser una base para la gestión.

La estrategia nacional de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) para la sostenibilidad de los recursos hídricos (Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo, 2016) propuso cuatro líneas estratégicas: (1) I+D+i para la comprensión de los procesos hidrológicos; (2) I+D+i para la gestión integral de los recursos hídricos; (3) I+D+i para la comprensión de los ecosistemas acuáticos; y (4) desarrollo tecnológico para la sostenibilidad de los recursos hídricos. El desarrollo y financiamiento adecuado de estas líneas estratégicas debería establecer un soporte robusto en el largo plazo.

Un sistema de monitoreo de calidad del agua más comprehensivo

El monitoreo y vigilancia de la calidad del agua es una parte esencial en la gestión de la calidad del agua (**Figura 4**). El monitoreo y vigilancia debe insertarse en un marco institucional y normativo con propósitos claros asociados a una GIRH, coherente con la visión, objetivos y metas asociados a la agenda de sostenibilidad. Asimismo, debe existir un financiamiento sustantivo y de largo plazo con alianzas público-privadas para la realización de programas de I+D+i, la formación de capital humano y el establecimiento de sistemas de gestión de información integrados. Debe complementarse con la participación de actores diversos que den viabilidad y legitimidad para una comprensión común de la calidad del agua, con programas de monitoreo participativo, programas de autocontrol de la industria, sumados a la vigilancia desde instituciones estatales (*e.g.*, DGA, SISS, SMA, MMA).

El análisis de las características de la red de monitoreo de calidad y las presiones sobre la calidad del agua en Chile, junto con las prácticas internacionales, permite identificar algunos parámetros que deberían ser considerados en el corto y mediano plazos para incorporarse a campañas de monitoreo en cuerpos de agua, ya sea en la red nacional operada por la DGA o en los siguientes planes de vigilancia de las NSCA:

a. **Alcalinidad total.** Este parámetro cuantifica la capacidad de resistir la acidificación y es medida por agencias del Gobierno en países desarrollados. Este parámetro es importante para Chile por el potencial latente de generación de drenaje ácido en las cuencas del norte y centro debido al enriquecimiento y movilización de sulfuros metálicos. El drenaje ácido se genera por procesos naturales, así como por las actividades mineras actuales e históricas (*e.g.* cuencas de los ríos Lluta y Elqui).
b. **Fraccionamiento entre metales totales y disueltos.** La toxicidad y movilidad de los metales en aguas es controlada por su especiación química, es decir, la forma química en que se presentan. Los metales disueltos (i.e., la fracción que puede pasar por una membrana de 0,45 µm) son más móviles y biodisponibles que aquellos asociados a partículas. Estos últimos pueden ser depositados en los lechos y removidos bajo condiciones hidrodinámicas favorables, o bien acumulados transitoriamente en lagos y embalses. Las estrategias de gestión para metales dependen, por lo tanto, fuertemente de su fraccionamiento entre fases sólidas y disueltas.
c. **Turbidez.** Se asocia al grado de transparencia que pierde el agua por la suspensión de partículas inorgánicas y orgánicas y se usa para evaluar el estado de cuerpos de agua, especialmente en relación con la capacidad de sustentar ecosistemas o para recreación. Aunque la turbidez puede tener un origen natural, es posible que también indique procesos de deterioro de la calidad del agua, como descarga de residuos líquidos, neutralización de drenaje ácido o crecimiento de algas fotosintéticas. Asimismo, puede dar cuenta de procesos de erosión de suelos o efectos de contaminación difusa de origen urbano. Aunque se mide en la red de 14 lagos, lagunas y embalses, su uso en aguas superficiales corrientes es recomendado.
d. **Nutrientes.** Entender sus flujos es esencial para determinar las capacidades de carga de los sistemas lóticos, lo que implicará muy posiblemente adoptar estándares más altos de remoción de nutrientes para plantas de tratamiento de aguas servidas. La medición de las distintas formas de nutrientes en aguas corrientes es necesaria para determinar los flujos hacia los cuerpos de agua, especialmente hacia los lagos en las zonas costeras de Chile. Las principales fuentes de nutrientes hacia los ríos son típicamente las fuentes difusas agrícolas y urbanas, junto a la descarga de aguas servidas tratadas en plantas que no remueven específicamente nitrógeno y fósforo. El crecimiento de algas fotosintéticas en aguas naturales es limitado por la disponibilidad de nutrientes; su aumento acelera la eutrofización y ocurrencia de periodos de anoxia, generando mortandad de peces y aumento de turbiedad.
e. **Calidad química de los sedimentos.** Los sedimentos pueden ser repositorios de contaminantes en cuerpos de agua, especialmente para metales en el norte y centro de Chile. Los sedimentos tienen el potencial de liberar episódicamente los contaminantes acumulados, gatillado por eventos hidrológicos (*e.g.*, crecidas), manejo de obras hidráulicas (*e.g.* apertura de compuertas, dragado), o procesos que alteren la química de los sedimentos (*e.g.*, derrames, eutrofización). Esto se aprecia claramente en los casos de las cuencas de los ríos Lluta, Loa y Elqui discutidas en secciones previas, y más al sur, notoriamente en las cuencas de los ríos Aconcagua, Maipo y Rapel.
f. **Perclorato.** Ocurre junto con el nitrato en ambientes hiperáridos, incluyendo suelos desérticos (Jackson *et al*., 2015; Parker, 2009) y, especialmente, en caliches y salmueras de los salares del norte de Chile que son materias primas para fertilizantes (Calderon *et al*., 2014; Jackson *et al*., 2015; Jackson *et al*., 2010; Lybrand *et al*., 2016; Parker, 2009; Renner, 2006). Este compuesto altera el funcionamiento de la glándula tiroides al ser ingerido a bajas concentraciones en el agua potable (Crump *et al*., 2000; Tellez *et al*., 2005). Al ser muy soluble y poco reactivo, puede permanecer en las aguas superficiales y subterráneas enriquecidas por procesos naturales y antrópicos (*e.g.*, contaminación difusa por aplicación de fertilizantes), y no es removido en forma relevante por los procesos típicos de tratamiento de agua potable (Srinivasan & Viraraghavan, 2009). Al igual que con los contaminantes emergentes, las metodologías para su detección y cuantificación a niveles traza se encuentran poco disponibles. En California, EUA,

se estableció un objetivo de salud pública para agua potable de 1 ppb (California Environmental Protection Agency, 2015). Esas bajas concentraciones desafían el desempeño analítico de los métodos de cuantificación de perclorato.

g. **Contaminantes emergentes.** Día a día hay nueva evidencia de la ocurrencia en aguas y/o sedimentos de sustancias químicas con potenciales efectos negativos sobre la salud humana y de ecosistemas acuáticos (Petrie *et al*., 2015). Muchos de los contaminantes emergentes no son considerados contaminantes prioritarios porque no son incluidos en los protocolos de monitoreo, o las técnicas analíticas no son capaces de detectar concentraciones traza, lo que implica que los registros de su ocurrencia en ambientes acuáticos sean escasos (Murray *et al*., 2010). Los contaminantes emergentes provienen de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, descargas industriales, escorrentía urbana, aguas lluvias y lixiviados de residuos (Wilkinson *et al*., 2017). Una vez descargados al ambiente son transportados y/o sufren transformaciones químicas, reacciones de sorción (sobre material particulado, micropartículas plásticas, sedimentos) y bioacumulación, siendo degradados por reacciones fotoquímicas, volatilización o por reacciones microbianas (Wilkinson *et al*., 2017). La propagación de material genético asociado a la resistencia a antibióticos es un tema de especial urgencia (Carraro *et al*., 2016; Carvalho & Santos, 2016; Martinez, 2009; Vikesland *et al*., 2017). No sólo es un problema de salud pública y económico, sino también limita la reutilización de aguas tratadas y lodos digeridos desde plantas de tratamiento de aguas servidas (*e.g.* Bondarczuk *et al*., 2016).

Murray *et al*. (2010) organizan los contaminantes emergentes que se han encontrado ampliamente en ambientes acuáticos en tres categorías, para cada una de las cuales se dispone de evidencia de ocurrencia en Chile: (1) compuestos industriales, (2) pesticidas, y (3) compuestos farmacéuticos y productos de cuidado personal.

Así, es necesario que los sistemas de monitoreo y vigilancia recopilen sistemáticamente información que permita identificar y caracterizar la ocurrencia, y gestionar los contaminantes emergentes, por ejemplo, a través de normas primarias y/o secundarias. Esto involucra un desafío triple: (1) recolectar evidencia que permita asociar ocurrencia con efecto, de modo que su gestión sea basada en el riesgo y sobre la base de datos nacionales; (2) disponer de métodos analíticos que permitan realizar mediciones con un desempeño analítico adecuado y un costo alcanzable; y (3) disponer de tecnologías costo efectivas de control adaptadas a la realidad nacional. Para abordar estos desafíos, el trabajo de las universidades y centros de investigación dentro de una política asertiva de I+D+i juega un rol clave.

Tecnologías sostenibles para el mejoramiento y protección de la calidad del agua

Los sistemas convencionales de lodos activados han demostrado ser una buena alternativa para tratamiento de aguas servidas en ciudades, dado que son capaces de tratar altos caudales y cargas de contaminantes en un espacio reducido (Kadlec & Knight, 1996), pero no necesariamente son la mejor alternativa para áreas rurales, donde a veces han sido abandonados por dificultades en la operación, manutención y financiamiento. Por lo tanto, es necesario evaluar distintas opciones, más sostenibles según las condiciones locales y la disponibilidad de personal requerido para su operación y manutención.

Una opción son los sistemas naturales que, a diferencia de los sistemas convencionales, se basan en la interacción de sus componentes naturales (suelo, vegetación y microorganismos) para la remoción de contaminantes (Crites *et al*., 2014), por lo que tienen menores costos de inversión y operación. Además, los sistemas naturales se caracterizan por usar fuentes de energía renovables y, por lo tanto, generan menores emisiones de gases invernadero, siendo una alternativa más sostenible comparada con los sistemas convencionales más intensivos en energía proveniente de combustibles fósiles.

Dentro de los sistemas naturales destacan los humedales construidos o artificiales que imitan a los naturales para realizar tratamiento de agua y han sido ampliamente utilizados en distintos lugares del mundo (Kadlec & Wallace, 2009). Su principal aplicación corresponde a tratamiento secundario y terciario de aguas residuales domésticas, siendo capaces de remover una variedad de con-

taminantes incluyendo sólidos suspendidos, material demandante de oxígeno, nutrientes, patógenos, metales y metaloides. Estos sistemas han sido implementados exitosamente a escala domiciliaria y comunitaria principalmente para tratamiento de aguas servidas y grises en distintos lugares de Chile. Algunos ejemplos son un sistema cuyo efluente se usará para regar una ecoplaza en San Pedro de Atacama, en la Región de Atacama, y otro sistema que trata las aguas grises de un colegio en Rungue, en la Región Metropolitana. A escala municipal, existe un sistema piloto que trata aguas servidas de 20.000 habitantes en Hualqui, en la Región de Biobío (Casas Ledón *et al*., 2017). Recientemente, se han investigado aplicaciones locales a escala de laboratorio, por ejemplo, aguas residuales de la industria porcina (Plaza de los Reyes & Vidal, 2015) y aguas contaminadas con arsénico y metales (Lizama Allende *et al*., 2014). Esta evidencia indica que es factible utilizarlas en Chile. Además, se requieren más esfuerzos para avanzar en su implementación con aplicaciones distintas a las aguas servidas, considerando principalmente las condiciones locales y la calidad objetivo.

Los humedales construidos pueden cumplir además con otros objetivos, como la recuperación de ecosistemas. Un buen ejemplo corresponde a un humedal centinela, que se construirá en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter en la Región de los Ríos, como parte de las medidas de reparación del daño ambiental debido a las descargas de riles de una industria de celulosa. El principal objetivo del humedal es recibir el primer impacto de disposición de riles de dicha industria, ya que recibirá el efluente del tratamiento terciario de la planta de tratamiento antes de que sea descargado al río Cruces. El humedal ya está diseñado e incorporará especies representativas del humedal del río Cruces, como *Typha angustifolia* (vatro) y *Scirpus californicus* (totora).

Otros sistemas de tratamiento sostenibles corresponden a tecnologías de membranas desaladoras que usan energía solar (Suárez & Urtubia, 2016) o membranas bioactivas para recuperación de bioenergía (hidrógeno) de las aguas residuales (Prieto *et al*., 2016). Además de los altos requerimientos energéticos de los sistemas convencionales y la creciente demanda hídrica por parte de la actividad industrial, la implementación de las NSCA para protección de ríos y lagos puede incentivar la búsqueda e implementación de tecnologías amigables con el medio ambiente que permitan mejorar y proteger fuentes de agua para distintos usos.

8. Conclusiones

La interacción compleja entre factores hidrológicos, geológicos, biológicos y humanos determina características hidroquímicas muy heterogéneas a lo largo de Chile. Mientras los ambientes áridos e hiperáridos de la Macrozona Norte se caracterizan por enriquecimiento natural de sales disueltas, metales y metaloides de fuentes hidrotermales, franjas metalogénicas y ambientes evaporíticos, hacia el sur, la menor frecuencia de estas fuentes sumadas a mayores precipitaciones y escorrentía generan mayor dilución, llegando a aguas con escaso contenido de sales disueltas y metales en las Macrozonas Sur y Austral.

La geomorfología del país determina escurrimientos típicos de oriente a poniente, desde las cabeceras de las cuencas en la cordillera de los Andes hasta su desembocadura en el Pacífico. En las Macrozonas Norte y Centro, la actividad minera andina es una presión importante sobre la calidad del recurso hídrico, generando localmente condiciones que favorecen la movilización de metales y metaloides, acidificación de las aguas y aumento de las sales disueltas. El desarrollo de actividades agrícolas y el emplazamiento de los centros urbanos e industriales en los valles de la zona Centro-Sur determinan un aumento de las concentraciones de nutrientes y contaminantes antrópicos que deterioran la calidad de lagos y lagunas, generando condiciones mesotróficas y eutróficas, especialmente en lagos y lagunas en zonas costeras. Hacia la Macrozona Austral, la escasa densidad poblacional y de actividades socioeconómicas determina aguas de calidad excepcional. Allí, la acuicultura es una de las mayores presiones a nivel local, existiendo también algunas presiones localizadas de la ganadería, minería y centros urbanos.

Los niveles de acceso a agua potable segura y saneamiento en el país son altos, gestionado a través de un sistema de concesiones de servicios sanitarios en áreas urbanas que presta servicios al grueso de la población. El cumplimiento de los es-

tándares de calidad del agua potable es alto, existiendo planes para mejorar algunas deficiencias en el cumplimiento en el norte de Chile a través de desalinización. Cerca de 30% de las aguas servidas son dispuestas a través de emisarios submarinos hacia el Océano Pacífico, mientras que de las aguas tratadas sólo 5% contempla la remoción de nutrientes. Junto con mejorar estos aspectos, existe un desafío constante para la industria sanitaria y su regulador, la SISS, de progresar hacia mayor adaptabilidad, resiliencia de la infraestructura sanitaria urbana, junto al desempeño más sostenible y tarifas más bajas. En áreas rurales, el desempeño de Chile a nivel regional es bueno, pero todavía existe un camino por recorrer para llegar a un acceso completo a agua potable y a una gestión segura de aguas servidas.

El desarrollo de estrategias y políticas nacionales para la gestión del recurso hídrico durante los últimos años consideran la GIRH como pilar fundamental, buscando superar limitaciones provenientes de la fragmentación de competencias y agendas entre distintas instituciones del Estado. Adicionalmente, la búsqueda del bienestar común con una visión de largo plazo a través de la GIRH entra en tensión con la preeminencia de los DA establecidos en el Código de Aguas, que revisten características de propiedad privada y que son transables. Se necesita introducir modificaciones al Código de Aguas para una implementación vinculante, efectiva y operativa de la visión del agua como bien nacional de uso público.

Además de un marco institucional y normativo compatible con una GIRH en Chile, existen otros grandes desafíos para el mejoramiento y protección de la calidad del agua, que se pueden resumir en tres áreas: (1) definición de políticas públicas basadas en ciencia donde exista una comprensión común de los procesos que regulan la calidad del agua, donde el uso de modelos conceptuales y cuantitativos junto a programas de monitoreo y vigilancia son fundamentales en construir, mejorar continuamente y legitimar esta comprensión común para la toma de decisiones; (2) desarrollar e implementar planes de monitoreo y vigilancia de calidad del agua que sean más comprehensivos, lo cual implica mejorar la densidad, frecuencia y la cantidad de parámetros de forma coherente con la dinámica de las presiones naturales y antrópicas sobre la calidad del agua y las respuestas de los sistemas acuáticos. Un ejemplo claro de esto es la dinámica de metales y metaloides que tienen fuentes naturales y que pueden ser movilizados por actividades mineras, ejerciendo una presión sobre recursos usados para abastecer ciudades, agricultura y sostener ecosistemas acuáticos. Asimismo, se necesita caracterizar la ocurrencia y transformaciones de contaminantes emergentes con potenciales riesgos sobre la salud humana y ecosistémica; y (3) desarrollar tecnologías que permitan mejorar y proteger la calidad del agua en formas más sostenibles, considerando el nexo agua-energía-alimentación para disponer de sistemas más adaptables y resilientes.

9. Agradecimientos

Este trabajo contó con el apoyo de los proyectos FONDAP 15110020 y FONDECYT 1161337. Agradecemos la información entregada por la DGA y SISS. Agradecemos las sugerencias y comentarios entregados por Mónica Musalem de la DGA. También, agradecemos el trabajo de Guillermo Arce y Pablo Moya del CEDEUS en la revisión de documento y preparación de algunas tablas y gráficos.

10. Referencias

Abarca, M. *et al*. (2017). Response of suspended sediment particle size distributions to changes in water chemistry at an Andean mountain stream confluence receiving arsenic rich acid drainage. *Hydrological Processes*, 31(2): 296-307.

Alsina, M.A. *et al*. (2014). Arsenic speciation in sinter mineralization from a hydrothermal channel of El Tatio geothermal field, Chile. *Journal of Hydrology*, 518: 434-446.

Aracena, A., Muñoz, G. (2017). *Remoción de Arsénico en el Agua Potable de la Región de Tarapacá.* XXII Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS Chile. Iquique, Chile: AIDIS.

Arce, G. *et al*. (2017). Enhancement of particle aggregation in the presence of organic matter during neutralization of acid drainage in a stream confluence and its effect on arsenic immobilization. *Chemosphere*, 180: 574-583.

Arumi, J.L., Oyarzun, R., Sandoval, M. (2005). Natural protection against groundwater pollution by nitrates in the Central Valley of Chile. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques,* 50(2): 331-340.

Bondarczuk, K., Markowicz, A., Piotrowska-Seget, Z. (2016). The urgent need for risk assessment on the antibiotic resistance spread via sewage sludge land application. *Environment International,* 87: 49-55.

Boyer, E.W. *et al*. (2006). Riverine nitrogen export from the continents to the coasts. *Global Biogeochemical Cycles,* 20(1): n/a.

Bugueño, M., Acevedo, S., Bonilla, C., Pizarro, G., Pasten, P. (2014). Differential arsenic binding in the sediments of two sites in Chile's lower Loa River basin. *Science of the Total Environment,* 466: 387-396.

Bundschuh, J. *et al*. (2012). One century of arsenic exposure in Latin America: a review of history and occurrence from 14 countries. *Sci Total Environ,* 429: 2-35.

Calderon, R. *et al*. (2014). Perchlorate Levels in Soil and Waters from the Atacama Desert. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology,* 66(2): 155-161.

California Environmental Protection Agency (2015). *Public Healt Goal for Perchlorate in Drinking Water.* California: CEPA.

Capaccioni, B. *et al*. (2011). Geochemical and isotopic evidences of magmatic inputs in the hydrothermal reservoir feeding the fumarolic discharges of Tacora volcano (northern Chile). *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* 208(3): 77-85.

Carraro, E. *et al*. (2016). Hospital effluents management: Chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries. *Journal of Environmental Management,* 168: 185-199.

Carvalho, I.T., Santos, L. (2016). Antibiotics in the aquatic environments: A review of the European scenario. *Environment International,* 94: 736-757.

Casas Ledón, Y., Rivas, A., López, D., Vidal, G. (2017). Life-cycle greenhouse gas emissions assessment and extended exergy accounting of a horizontal-flow constructed wetland for municipal wastewater treatment: A case study in Chile. *Ecological Indicators,* 74: 130-139.

Comisión Nacional de Medio Ambiente (2003). *Estrategia Nacional de Biodiversidad.*

Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (2016). *Ciencia e Innovación para los Desafíos del Agua en Chile: Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos.* Santiago: CNID.

Contreras, M.T. *et al*. (2015). Potential accumulation of contaminated sediments in a reservoir of a high-Andean watershed: Morphodynamic connections with geochemical processes. *Water Resources Research,* 51(5): 3181-3192.

Crites, R.W., Middlebrooks, E.J., Bastian, R.K., Reed, S.C. (2014). *Natural Wastewater Treatment Systems.* Boca Raton, FL: CRC Press.

Crump, C. *et al*. (2000). Does perchlorate in drinking water affect thyroid function in newborns or school-age children? *Journal of Occupational and Environmental Medicine,* 42(6): 603-612.

Dadea, C., Fanfani, L., Keegan, T.J., Farago, M., Thornton, I. (2001). Sequential extraction in stream sediments from the Loa basin (Northern Chile). *Water-Rock Interaction,* Vols 1 and 2: 1055-1058.

Dirección General de Aguas (2014). *Análisis crítco de la red de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA*. S.I.T N° 337. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos.

Dirección General de Aguas (2016). *Atlas del Agua Chile 2016.* Serie de Estudios Básicos DGA. Santiago, Chile: DGA.

Donoso, G., Cancino, J., Magri, A. (1999). Effects of agricultural activities on water pollution with nitrates and pesticides in the Central Valley of Chile. *Water Science and Technology,* 39(3): 49-60.

Dumont, E., Harrison, J.A., Kroeze, C., Bakker, E.J., Seitzinger, S.P. (2005). Global distribution and sources of dissolved inorganic nitrogen export to the coastal zone: Results from a spatially explicit, global model. *Global Biogeochemical Cycles,* 19(4): GB4S02.

Espejo, L. *et al*. (2012). Application of water quality indices and analysis of the surface water quality monitoring network in semiarid North-Central Chile. *Environmental Monitoring and Assessment,* 184(9): 5571-5588.

European Environment Agency (1999). *Environmental Indicators: Typology and Overview.* Technical report No.25. Copenhagen European Environment Agency.

Evans, G.W. & Kantrowitz, E. (2002). Socioeconomic status and health: The potential role of environmental risk exposure. *Annual Review of Public Health,* 23: 303-331.

Fernandez, E., Grilli, A., Alvarez, D., Aravena, R. (2017). Evaluation of nitrate levels in groundwater under agricultural fields in two pilot areas in central Chile: A hydrogeological and geochemical approach. *Hydrological Processes,* 31(6): 1206-1224.

Ferreccio, C., Sancha, A.M. (2006). Arsenic exposure and its impact on health in Chile. *J Health Popul Nutr,* 24(2): 164-75.

Flores, M. *et al*. (2017). Surface water quality in a sulfide mineral-rich arid zone in North-Central Chile: Learning from a complex past, addressing an uncertain future. *Hydrological Processes,* 31(3): 498-513.

Fuentes, I., Casanova, M., Seguel, O., Najera, F., Salazar, O. (2014). Morphophysical pedotransfer functions for groundwater pollution by nitrate leaching in Central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research,* 74(3): 340-348.

Gaete, H., Aranguiz, F., Cienfuegos, G., Tejos, M. (2007). Heavy metals and toxicity of waters of the aconcagua river in Chile. *Quimica Nova,* 30(4): 885-891.

Galleguillos, G., Oyarzun, J., Maturana, H., Oyarzun, R. (2008). Arsenic capture in dams: the Elqui River case, Chile. *Ingeniería Hidráulica en México,* 23(3): 29-36.

Gibbs, P.J., Miskiewicz, A.G. (1995). Heavy-Metals in Fish Near a Major Primary-Treatment Sewage Plant Outfall. *Marine Pollution Bulletin,* 30(10): 667-674.

Gobierno de Chile (2017). *Informe de Diagnóstico e Implementación de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Chile.*

Guerra, P., Gonzalez, C., Escauriaza, C., Pizarro, G., Pasten, P. (2016a). Incomplete Mixing in the Fate and Transport of Arsenic at a River Affected by Acid Drainage. *Water Air and Soil Pollution,* 227(3): 20.

Guerra, P. *et al*. (2016b). Daily Freeze-Thaw Cycles Affect the Transport of Metals in Streams Affected by Acid Drainage. *Water*, 8(3).

Hansen, A.M. (2012). Lake sediment cores as indicators of historical metal(loid) accumulation - A case study in Mexico. *Applied Geochemistry,* 27(9): 1745-1752.

Instituto Nacional de Estadísticas (2015). *Compendio Estadístico.* Santiago de Chile.

Iturriaga, S., Baixas, J.I., Croxatto, F., Ibieta, P., Quintana, F. (2013). TEAM MAPOCHO 42K, 2013. *Arq* (85): 82-87.

Jackson, W.A. *et al*. (2015). Global patterns and environmental controls of perchlorate and nitrate co-occurrence in arid and semi-arid environments. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* 164: 502-522.

Jackson, W.A., Bohlke, J.K., Gu, B.H., Hatzinger, P.B., Sturchio, N.C. (2010). Isotopic Composition and Origin of Indigenous Natural Perchlorate and Co-Occurring Nitrate in the Southwestern United States. *Environmental Science & Technology,* 44(13): 4869-4876.

Kadlec, R., Wallace, S. (2009). *Treatment wetlands.* Boca Raton, FL: CRC Press.

Kadlec, R.H., Knight, R.L. (1996). *Treatment wetlands.* Boca Raton, FL: CRC Press.

Landrum, J. *et al*. (2009). Partitioning geochemistry of arsenic and antimony, El Tatio Geyser Field, Chile. *Applied Geochemistry,* 24(4): 664-676.

Leiva, E. *et al*. (2014). Natural attenuation process via microbial oxidation of arsenic in a high Andean watershed. *Science of the Total Environment,* 466: 490-502.

Lizama Allende, K., McCarthy, D.T., Fletcher, T.D. (2014). The influence of media type on removal of arsenic, iron and boron from acidic wastewater in horizontal flow wetland microcosms planted with Phragmites australis. *Chemical Engineering Journal,* 246(0): 217-228.

Lybrand, R.A. *et al*. (2016). Nitrate, perchlorate, and iodate co-occur in coastal and inland deserts on Earth. *Chemical Geology,* 442: 174-186.

Magaritz, M., Aravena, R., Pena, H., Suzuki, O., Grilli, A. (1990). Source of Ground-Water in the Deserts of Northern Chile - Evidence of Deep Circulation of Ground-Water from The Andes. *Ground Water,* 28(4): 513-517.

Martinez, J.L. (2009). Environmental pollution by antibiotics and by antibiotic resistance determinants. *Environmental Pollution,* 157(11): 2893-2902.

Meybeck, M. (1982). Carbon, nitrogen and phosphorous transport by world rivers. *American Journal of Science,* 282: 401--450.

Ministerio de Obras Públicas (2012). *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025.*

Ministerio del Interior y Seguridad Pública-Delegación Presidencial para los Recursos Hídricos (2015). *Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015.*

Ministerio del Medio Ambiente (2013). *Estrategia Nacional de Crecimiento Verde.*

Ministerio del Medio Ambiente (2015). *Organigrama de la Institucionalidad Ambiental-Chile 2015.*

Ministerio del Medio Ambiente (2016). Plan Nacional de Cuentas Ambientales. In: *Ambiental*, D.d.I.y.E. (Editor).

Ministerio del Medio Ambiente (2017a). *Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes.*

Ministerio del Medio Ambiente (2017b). Tercer Reporte del Estado del Medio Ambiente. In: *Ambiental*, D.d.I.y.E. (Editor).

Ministerio del Medio Ambiente (2018). *Consejo de Ministros para la Sustentabilidad aprueba nueva Estrategia Nacional de Biodiversidad para la próxima década.*

Ministerio de Relaciones Exteriores (2016). Decreto 49. Crea Consejo Nacional para la Implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Chile.

Montecinos, M. *et al*. (2016). P*ersistence of Metal-rich Particles Downstream Zones of Acid Drainage Mixing in Andean Rivers.* Fall Meeting American Geophysical Union, San Francisco, USA.

Murray, K.E., Thomas, S.M., Bodour, A.A. (2010). Prioritizing research for trace pollutants and emerging contaminants in the freshwater environment. *Environmental Pollution,* 158(12): 3462-3471.

OECD (2011). *Water Governance in OECD Countries: A Multi-level Approach.* OECD Studies on Water. OECD Publishing.

OECD (2012). *Water Governance in Latin America and the Caribbean.* OECD Publishing.

OECD (2017). *Gaps and Governance Standards of Public Infrastructure in Chile: Infrastructure Governance Review.* OECD Publishing, Paris.

Orellana, S. (1985). *Hidrogeoquímica del río Loa: un prototipo para el estudio de hoyas hidrográficas en el norte de Chile.*

Oyarzun, J. *et al*. (2013). Hydrochemical and isotopic patterns in a calc-alkaline Cu- and Au-rich arid Andean basin: The Elqui River watershed, North Central Chile. *Applied Geochemistry,* 33: 50-63.

Oyarzun, J. *et al*. (2012). Abandoned tailings deposits, acid drainage and alluvial sediments geochemistry, in the arid Elqui River Basin, North-Central Chile. *Journal of Geochemical Exploration,* 115: 47-58.

Parker, D.R. (2009). Perchlorate in the environment: the emerging emphasis on natural occurrence. *Environmental Chemistry,* 6(1): 10-27.

Pasten, P. *et al*. (2015). Geochemical and Hydrologic Controls of Copper-Rich Surface Waters in the Yerba Loca-Mapocho System, American Geophysical Union, Fall Meeting 2015. *American Geophysical Union*, San Francisco, USA.

Pell, A. *et al*. (2013). Occurrence of arsenic species in algae and freshwater plants of an extreme arid region in northern Chile, the Loa River Basin. *Chemosphere*, 90(2): 556-64.

Petrie, B., Barden, R., Kasprzyk-Hordern, B. (2015). A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research*, 72: 3-27.

Pflieger, G. (2008). Achieving universal access to drinking water and sanitation networks in Santiago de Chile: An historical analysis 1970-1995. *Journal of Urban Technology,* 15(1): 19-51.

Pizarro, J., Rubio, M.A., Castillo, X. (2003). Study of chemical speciation in sediments: An approach

to vertical metals distribution in Rapel reservoir (Chile). *Journal of the Chilean Chemical Society,* 48(3): 45-50.

Pizarro, J., Rubio, M.A., Matta, A. (2009). Difussion of Fe, Mn, Mo and Sb in the Sediment-Water Interface of a Shallow Lake, Laguna Caren, Santiago (Chile). *Fresenius Environmental Bulletin,* 18(12): 2336-2344.

Pizarro, J., Vergara, P.M., Cerda, S., Briones, D. (2016). Cooling and eutrophication of southern Chilean lakes. *Science of The Total Environment,* 541: 683-691.

Pizarro, J., Vergara, P.M., Rodriguez, J.A., Sanhueza, P.A., Castro, S.A. (2010a). Nutrients dynamics in the main river basins of the centre-southern region of Chile. *J Hazard Mater,* 175(1-3): 608-13.

Pizarro, J., Vergara, P.M., Rodriguez, J.A., Valenzuela, A.M. (2010b). Heavy metals in northern Chilean rivers: spatial variation and temporal trends. *J Hazard Mater,* 181(1-3): 747-54.

Plaza de los Reyes, C., Vidal, G. (2015). Effect of variations in the nitrogen loading rate and seasonality on the operation of a free water surface constructed wetland for treatment of swine wastewater. *Journal of Environmental Science and Health,* Part A, 50(13): 1324-1332.

Prieto, A.L. *et al*. (2016). Performance of a composite bioactive membrane for H2 production and capture from high strength wastewater. *Environmental Science: Water Research and Technology,* 2(5): 848-857.

Renner, R. (2006). Fertilizer from Chile puts perchlorate on the table. *Environmental Science & Technology,* 40(21): 6524-6525.

Ribbe, L., Delgado, P., Salgado, E., Flugel, W.A. (2008). Nitrate pollution of surface water induced by agricultural non-point pollution in the Pocochay watershed, Chile. *Desalination*, 226(1-3): 13-20.

Ribeiro, L. *et al*. (2014). Water Quality Assessment of the Mining-Impacted Elqui River Basin, Chile. *Mine Water and the Environment,* 33(2): 165-176.

Roberts, P.J.W. *et al*. (2010). *Marine wastewater outfalls and treatment systems.* Colchester: IWA Publishing. 528 pp.

Romero, L. *et al*. (2003). Arsenic enrichment in waters and sediments of the Rio Loa (Second Region, Chile). *Applied Geochemistry,* 18(9): 1399-1416.

Roth, F., Lessa, G.C., Wild, C., Kikuchi, R.K.P., Naumann, M.S. (2016). Impacts of a high-discharge submarine sewage outfall on water quality in the coastal zone of Salvador (Bahia, Brazil). *Marine Pollution Bulletin,* 106(1-2): 43-48.

Segura, R., Arancibia, V., Zuniga, M., Pasten, P. (2006). Distribution of copper, zinc, lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho River in Santiago, Chile. *Journal of Geochemical Exploration,* 91(1-3): 71-80.

SISS (2013). *SISS fiscaliza avances de obras de empresa NOVAGUAS para mitigar presencia de arsénico en agua potable.*

SISS (2014). http://www.siss.cl/577/w3-article-11091.html.

Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry,* 17: 517-568.

Smith, A.H. *et al*. (2011). Evidence from Chile that arsenic in drinking water may increase mortality from pulmonary tuberculosis. *Am J Epidemiol,* 173(4): 414-20.

Smith, S.V. *et al*. (2003). Humans, hydrology, and the distribution of inorganic nutrient loading to the ocean. *Bioscience*, 53(3): 235-245.

Smith, S.V.a.S.D.P.a.T.-M.L.a.B.J.D.a.S.P.T.a.R.N. (2002). Nitrogen in aquatic ecosystems. *Ambio*, 31: 102-112.

Soto, D. (2002). Oligotrophic patterns in southern Chilean lakes: the relevance of nutrients and mixing depth. *Revista Chilena de Historia Natural,* 75(2): 377-393.

Soto, D., Campos, H. (1995). Los lagos oligotróficos asociados al Bosque templado húmedo del sur de Chile. En: Armesto, M., Khalin, C., Villagrán, C. (Eds.). *Ecología de los bosques templados de Chile.* Santiago: Editorial Universitaria. pp. 134-148.

Srinivasan, A., Viraraghavan, T. (2009). Perchlorate: Health Effects and Technologies for Its Removal from Water Resources. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 6(4): 1418-1442.

Suárez, F., Urtubia, R. (2016). Tackling the water-energy nexus: an assessment of membrane distillation driven by salt-gradient solar ponds. *Clean Technologies and Environmental Policy,* 18(6): 1697-1712.

Tapia, J., Audry, S. (2013). Control of early diagenesis processes on trace metal (Cu, Zn, Cd, Pb and U) and metalloid (As, Sb) behaviors in mining-

and smelting-impacted lacustrine environments of the Bolivian Altiplano. *Applied Geochemistry,* 31: 60-78.

Tapia, J. *et al*. (2009). Study of the copper, chromium and lead content in Mugil cephalus and Eleginops maclovinus obtained in the mouths of the Maule and Mataquito rivers (Maule Region, Chile). *Journal of the Chilean Chemical Society,* 54(1): 36-39.

Tellez, R.T. *et al*. (2005). Long-term environmental exposure to perchlorate through drinking water and thyroid function during pregnancy and the neonatal period. *Thyroid*, 15(9): 963-975.

Tercer Tribunal Ambiental de Chile (2017). *Corte Suprema confirma fallo de Tribunal sobre norma de calidad ambiental de la cuenca del río Valdivia.*

Thapalia, A., Borrok, D.M., Van Metre, P.C., Musgrove, M., Landa, E.R. (2010). Zn and Cu Isotopes as Tracers of Anthropogenic Contamination in a Sediment Core from an Urban Lake. *Environmental Science & Technology,* 44(5): 1544-1550.

UN Water (2017a). *Integrated Monitoring Guide for Sustainable Development Goal 6 on Water and Sanitation – Targets and global indicators.*

UN Water (2017b). *Step-by-step Methodology for Indicator 6.3.2 on Ambient Water Quality.*

UN Water (2017c). *Step-by-step Monitoring Methodology for SDG Indicator 6.6.1 on water-related ecosystems.*

United Nations (2001). *Road map towards the implementation of the United Nations Millennium Declaration: report of the Secretary-General,* A/56/326, 6 September. New York: UN.

United Nations (2015). Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. In: General_Assembly (Editor), A/RES/70/1, 21 October.

United Nations World Water Assessment Programme (2017). *The United Nations World Water Development.*

Report 2017. *Wastewater: The Untapped Resource.* Paris: UNESCO.

VanDerslice, J. (2011). Drinking Water Infrastructure and Environmental Disparities: Evidence and Methodological Considerations. *American Journal of Public Health,* 101: S109-S114.

Vega, A.S., Lizama, K., Pastén, P. (2018). Water Quality: Trends and Challenges. In: Donoso, G. (Ed.), Water Policy in Chile. *Global Issues in Water Policy,* pp. 255.

Vega, A.S., Planer-Friedrich, B., Pasten, P.A. (2017). Arsenite and arsenate immobilization by preformed and concurrently formed disordered mackinawite (FeS). *Chemical Geology,* 475: 62-75.

Vikesland, P.J. *et al*. (2017). Toward a Comprehensive Strategy to Mitigate Dissemination of Environmental Sources of Antibiotic Resistance. *Environmental Science & Technology,* 51(22): 13061-13069.

WHO, UNICEF (2017a). JMP launch version July 12 2017. *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene - 2017 Update and SDG Baselines.*

WHO, UNICEF (2017b). *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: Annexes.*

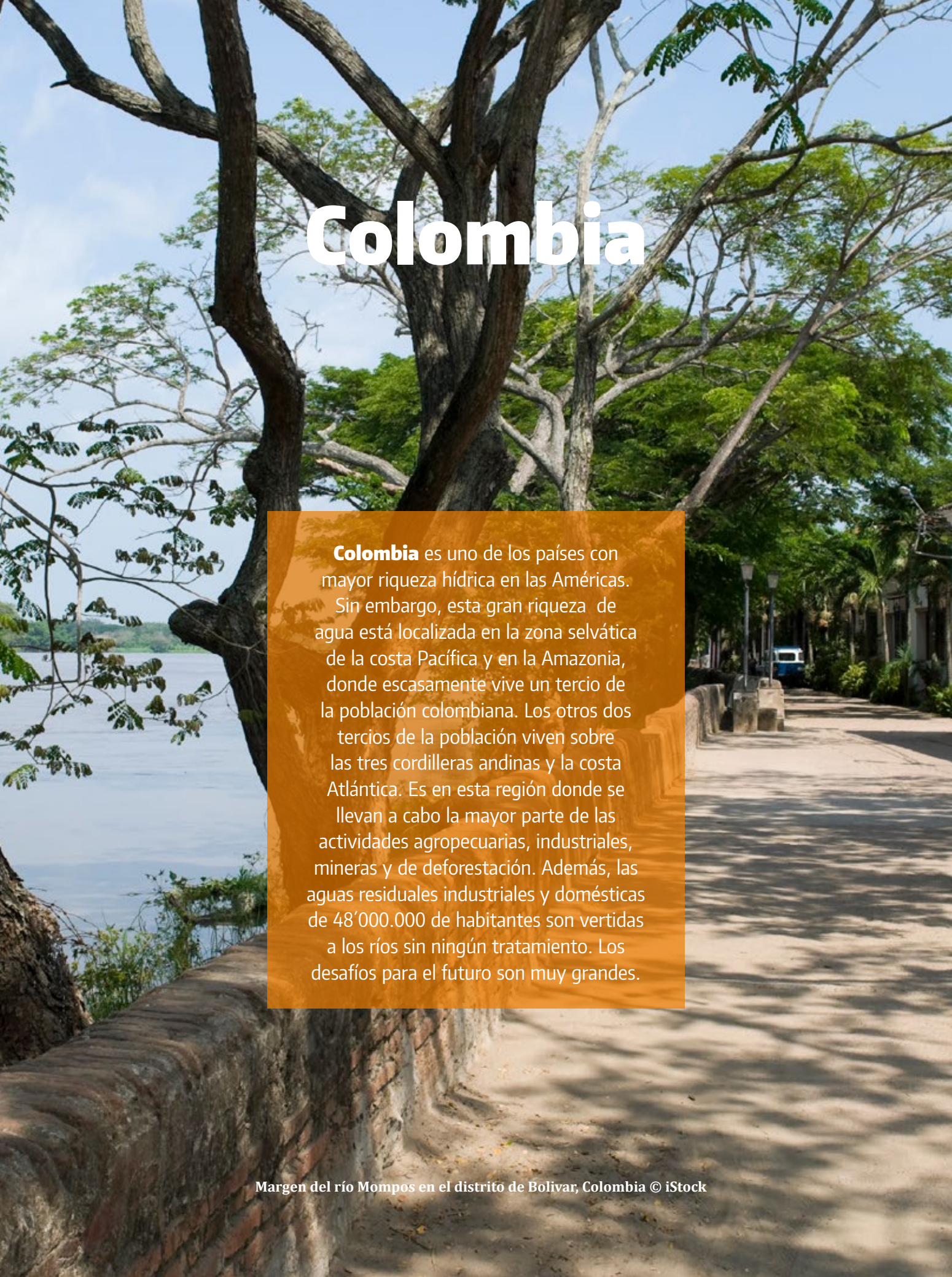
Wilkinson, J., Hooda, P.S., Barker, J., Barton, S., Swinden, J. (2017). Occurrence, fate and transformation of emerging contaminants in water: An overarching review of the field. *Environmental Pollution,* 231: 954-970.

Yang, H.D., Rose, N.L. (2003). Distribution of mercury in six lake sediment cores across the UK. *Science of the Total Environment,* 304(1-3): 391-404.

Yevenes, M.A., Arumi, J.L., Farias, L. (2016). Unravel biophysical factors on river water quality response in Chilean Central-Southern watersheds. *Environmental Monitoring and Assessment,* 188(5): 17.

Colombia

Colombia es uno de los países con mayor riqueza hídrica en las Américas. Sin embargo, esta gran riqueza de agua está localizada en la zona selvática de la costa Pacífica y en la Amazonia, donde escasamente vive un tercio de la población colombiana. Los otros dos tercios de la población viven sobre las tres cordilleras andinas y la costa Atlántica. Es en esta región donde se llevan a cabo la mayor parte de las actividades agropecuarias, industriales, mineras y de deforestación. Además, las aguas residuales industriales y domésticas de 48´000.000 de habitantes son vertidas a los ríos sin ningún tratamiento. Los desafíos para el futuro son muy grandes.



Margen del río Mompos en el distrito de Bolivar, Colombia © iStock

La calidad del agua en Colombia

Gabriel Roldán-Pérez, Claudia Patricia Campuzano Ochoa, Diego Alejandro Chalarca, Francisco José Molina Pérez, Diana Catalina Rodríguez Loaiza, Carlos Augusto Benjumea-Hoyos, Silvia Lucía Villabona-González y María Isabel Ríos-Pulgarín

1. Introducción

Colombia está ubicada en la esquina noroccidental de Suramérica. Es el cuarto país de la región en extensión territorial después de Brasil, Argentina y Perú. Es el único país de Suramérica con 1.600 kilómetros de costa en el Mar Caribe y 1.300 kilómetros en el Océano Pacífico y se encuentra dividido político-administrativamente en 33 departamentos y 1051 municipios, sin embargo, 70% de la población vive sólo en 10 de ellos, que son las ciudades principales del país, por lo que la presión sobre los recursos hídricos de estas ciudades es bastante alta.

Desde el punto de vista hidrológico, Colombia está conformado por cinco áreas hidrográficas, como se observa en la **Figura 1** (1-Caribe, 2- Magdalena-Cauca, 3- Orinoco, 4- Amazonas y 5-Pacífico), que a su vez están divididas en Zonas Hidrográficas y subdivididas en Subzonas Hidrográficas (HIMAT, Resolución 0337 de 1978).

El concepto de calidad de agua se basa en la Directiva Marco del Agua de la Comunidad Europea (UE, 2007), que la define como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla unos determinados objetivos de calidad ecológica, que van más allá de evaluar los requerimientos para un uso determinado (IDEAM, 2015).

En Colombia, la evaluación del estado y tendencias de las condiciones de la calidad del agua superficial y las presiones por contaminación que potencialmente se ejercen sobre los sistemas hídricos y cuerpos de agua del país la ha desarrollado el Instituto de Hidrolo-

Gabriel Roldán-Pérez. groldan@une.net.co Coordinador del capítulo. Miembro de Número y Director de Publicaciones, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Medellín, Antioquia. **Claudia Patricia Campuzano Ochoa.** Docente, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Antioquia. **Diego Alejandro Chalarca.** Ingeniero Sanitario independiente, Medellín, Antioquia. **Francisco José Molina Pérez.** Grupo de investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA), Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia. **Diana Catalina Rodríguez Loaiza.** Docente, Coordinadora Ingeniería Sanitaria, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia. **Carlos Augusto Benjumea-Hoyos.** Docente Asistente, Grupo de Investigación en Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia. **Silvia Lucía Villabona-González.** Profesor Asistente, Grupo de Investigación en Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Antioquia. **María Isabel Ríos-Pulgarí.** Grupo de Limnología y Recursos Hídricos, Laboratorio de Limnología, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Antioquia.

gía, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el marco de los Estudios Nacionales del Agua (IDEAM, 2010 y 2015).

Esta evaluación se ha desarrollado a partir de las características físicas, químicas y biológicas, teniendo como base el monitoreo sistemático de variables medidas en la red de referencia nacional del IDEAM, que incluye el análisis de concentraciones y cargas de metales en sedimentos, nitrógeno amoniacal, porcentaje de saturación de oxígeno, el desbalance de nutrientes y el Índice de Calidad del Agua (ICA) (IDEAM, 2015).

2. Autoridad institucional y gobernanza

2.1 Marco legal

La normatividad ambiental en Colombia es muy amplia y ha tenido importante desarrollo desde el Código Nacional de los Recursos Naturales en el año 1974 (Decreto-Ley 2811/1974). Allí se delega al Estado colombiano la responsabilidad de garantizar la calidad del agua para consumo humano y para las actividades en que su uso sea necesario, y con ello se introduce la necesidad de controlar la calidad del agua, mediante análisis periódicos de sus características físicas, químicas y biológicas con la finalidad de que sea apta para los fines a los cuales será destinada.

La Ley 9 de 1979, denominada Código Sanitario, regula aspectos del recurso agua tanto del medio marino como continental, relacionados con su potabilización y, en general, con aquellos temas relativos a la calidad del agua para consumo humano o que pueden afectar la salud humana. El decreto reglamentario de esta ley, 1594 de 1984 (Compilado en el Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015), regula todo lo relativo con vertimientos líquidos, el cual ha sido derogado en alguna de sus partes, por el 3930 de 2010 (Compilado en el Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015) en relación con la reglamentación del Ordenamiento del Recurso Hídrico como instrumento que permite hacer seguimiento y control de la contaminación. De igual forma, la Ley 1333 de 2009 estableció el procedimiento sancionatorio ambiental que rige para todos los procesos de infracción de normas ambientales.

Figura 1. Áreas hidrográficas de Colombia

Fuente: http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/p

La Constitución Política de 1991 contiene aproximadamente 60 disposiciones que se relacionan directa o indirectamente con el tema ambiental, elevando así el tema ambiental a rango constitucional. Frente a las responsabilidades ambientales asignadas por la Constitución, el Estado colombiano consideró necesario crear un sistema ambiental liderado por un ente de la más alta jerarquía administrativa, que estuviese en capacidad de dar respuesta adecuada tanto a los mandatos de la nueva Carta Política, como a los compromisos internacionales asumidos por el país (IDEAM, 2002)

La Ley 99 de 1993 creó el Ministerio del Medio Ambiente (Art. 2) como ente rector de la gestión ambiental del país, encargado de definir las políticas y regulaciones a las que se debe sujetar la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos

naturales renovables y el medio ambiente a fin de asegurar el desarrollo sostenible. Organizó el SINA (Sistema Nacional Ambiental), bajo la coordinación del Minambiente, conformado por el conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten el desarrollo de los principios y reglas contenidos en esta ley.

El Decreto 1640 de 2012 (Compilado en el Decreto 1076 de 2015) establece el monitoreo y seguimiento del recurso hídrico como una función legal del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el INVEMAR a nivel nacional, de las corporaciones autónomas regionales (CAR) a nivel regional, y de las autoridades ambientales urbanas y organismos de prevención y atención de desastres a nivel local de conformidad con las funciones establecidas en el Decreto 1323 de 2007.

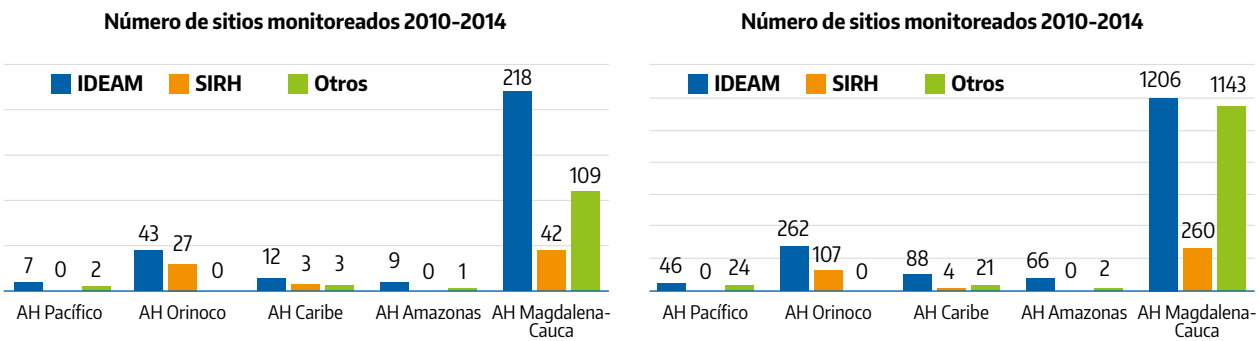
2.2 Monitoreo de la calidad del agua en Colombia

De acuerdo con un estudio llevado a cabo por el CTA (Centro de Tecnología de Antioquia) en 2015, el IDEAM realizó una evaluación, validación y consolidación de la información de calidad hídrica en cuerpos de agua lóticos de Colombia (IDEAM, 2015b), en la cual consideró principalmente dos fuentes de información: la primera, a nivel nacional, generada por el IDEAM a través del Plan Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) (Plan 2010-2022) y soportada en la red de referencia establecida para el componente de calidad del agua y del Estudio Nacional del Agua 2014 (IDEAM, 2015a); la segunda, se recopiló a nivel regional, contando con la base de datos del 2010 a 2014 consolidada en el Sistema Integrado del Recurso Hídrico (SIRH) a partir de la información reportada por las CAR e, igualmente, la información consolidada proveniente de diferentes bases de datos de las Autoridades Ambientales para un periodo de evaluación de 2010 a 2013, y que aún no había sido reportada al SIRH. La información regional fue recopilada, procesada y validada por la Universidad Nacional de Colombia en el marco del proyecto "Análisis estadístico multivariado de la calidad del agua superficial. Contrato 428-12" (IDEAM y UN, 2014).

De las bases de datos mencionadas anteriormente, el IDEAM consolidó información de calidad del agua de 4195 monitoreos puntuales realizados en el país entre los años 2010 y 2014; sin embargo, sólo 77% de la información, es decir, 3229 monitoreos realizados en 476 sitios, distribuidos en 108 Subzonas Hidrográficas de las 311 en que se divide el territorio nacional, presentó información que pudo ser validada para su potencial uso futuro; algunos de los criterios de validación fueron aspectos como la georreferenciación y la coherencia en los rangos de variación de los resultados reportados para algunas de las variables fisicoquímicas (IDEAM, 2015b).

En la **Figura 2** se presenta, por área hidrográfica, un consolidado de la información mencionada anteriormente. De los 476 sitios en los que se ha monitoreado la calidad del agua en el país, 77% fue realizado en el Área Hidrográfica (AH) Magdalena-Cauca, lo que corresponde a 81% (2609) del total

Figura 2. Número de sitios monitoreados y número de monitoreos realizados en cada una de las áreas hidrográficas de Colombia entre 2010 y 2014



Fuente: CTA, 2017.

de monitoreos realizados entre 2010 y 2014, y que pudieron ser validados. Es de resaltar que, de este último porcentaje, y siendo el AH Magdalena Cauca el área más monitoreada en el país, 44% de la información no había sido consolidada en el SIRH, lo cual evidencia un porcentaje alto de información de calidad del agua generada en el país y que no ha sido divulgada al público.

La problemática del monitoreo de la calidad del agua a nivel nacional y regional radica en la limitada cobertura de puntos de medición de las variables fisicoquímicas en los diferentes cuerpos hídricos del país, lo cual resulta insuficiente para tener una línea base, evaluar y hacer seguimiento a las posibles afectaciones producidas por las actividades antrópicas.

Actualmente, el IDEAM opera y mantiene una red total de 4667 estaciones de monitoreo del recurso hídrico, de las cuales 3091 son meteorológicas (66%), 1327 son hidrológicas (29%), 96 son hidrometeorológicas (2%) y 153 son de calidad del agua superficial (3%); estas estaciones están distribuidas en las 11 áreas operativas que dan cubrimiento a todo el país. En estas 153 estaciones se han realizado, entre 2010 y 2014, 476 monitoreos de calidad del agua, de los cuales 77,0% fueron realizados en el Área Hidrográfica (AH) Magdalena-Cauca, 15,0% en el AH Orinoco, 4,0% en el AH Caribe y 2,0% en las AH Pacífico y Amazonas.

Lo anterior evidencia que uno de los principales problemas para conocer el estado de la calidad del agua superficial en Colombia es la limitada cobertura de sitios de monitoreo de las variables fisicoquímicas, microbiológicas e hidrobiológicas en los diferentes cuerpos hídricos del país, lo cual resulta insuficiente para tener una línea base, evaluar y hacer seguimiento a las posibles afectaciones producidas por las actividades antrópicas (CTA, 2017).

Las presiones por contaminación sobre los sistemas hídricos y cuerpos de agua del país se analizan a partir de la estimación de cargas contaminantes puntuales vertidas por los sectores industrial, doméstico, sacrificio de ganado y beneficio del café. Esta estimación se hace para cada una de las variables que integran el Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL): Demanda Biológica de Oxígeno DBO, Demanda Química de Oxígeno DQO, Sólidos Suspendidos Totales SST, Nitrógeno Total NT y Fósforo Total PT.

Igualmente, se determina la presión por vertimiento de mercurio en la minería de oro y plata y las sustancias químicas utilizadas en la agricultura.

En Colombia no se cuenta con una buena cobertura de laboratorios acreditados ante el IDEAM para el análisis de algunos parámetros de aguas bajo la norma NTC-ISO-IEC 17025:2005. A 2016 se contaba con 138 laboratorios acreditados, de los cuales 123 (89%) se encuentran en el AH Magdalena-Cauca, 6 en el AH Pacífico, 4 en el AH Caribe, 4 en el AH Orinoquía y 1 laboratorio en el AH Amazonas, de estos 138 laboratorios, sólo 15% cuenta con acreditación de los parámetros de calidad del agua establecidos en el ICA (saturación de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, relación nitrógeno total/fósforo total, pH, conductividad eléctrica y coliformes fecales) (CTA, 2017).

Lo anterior conlleva a la necesidad de fortalecer la infraestructura y equipamiento necesario para realizar un monitoreo regional de calidad del agua. Esto incluye fortalecer el proceso de acreditación de laboratorios de agua, establecer protocolos y procedimientos que cumplan con las directrices de los Sistemas de Gestión de calidad en el país.

3. Problemas que impactan la calidad del agua

3.1 Aguas residuales

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. Ellas pueden definirse como las aguas provenientes del sistema de abastecimiento de agua de una población después de haber sido modificadas por diversos usos –en actividades domésticas, industriales y comunitarias– (Rolim, 2000) y que posteriormente son recolectadas mediante el sistema de alcantarillado para su envío a una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR); de esta manera, el tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales supone el conocimiento de sus características físicas, químicas y microbiológicas y de los efectos que éstas pueden ocasionar sobre la fuente receptora (Romero, 2004).

En Colombia, la evaluación integral más actualizada de la descarga de aguas residuales a las cuerpos de agua se realizó en el Estudio Nacional del Agua de 2014 (IDEAM, 2014). Sin embargo, la información utilizada presenta vacíos y corresponde

a diferentes años (2008 para las aguas residuales domésticas, 2010 para las aguas residuales industriales, 2012 para el vertimiento de aguas residuales provenientes del beneficio del café y del sacrificio de ganado), lo que supone una limitante a la hora de evaluar la problemática de las aguas residuales en Colombia. Por otro lado, el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 "Prosperidad para Todos" proyectó como meta para el año 2014 aumentar el porcentaje de agua residual tratada pasando de 27,5% a 36% en dicho cuatrienio (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios –SSPD–, 2014); esto implicaría la construcción de nuevas plantas de tratamiento, optimización de las plantas actuales y planes de inversión en saneamiento, lo que permitiría mejorar la calidad del agua de las fuentes receptoras.

Según el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2014), las principales fuentes de contaminación hídrica en Colombia son las aguas residuales domésticas y las aguas residuales industriales principalmente del sacrificio de ganado, beneficio del café, vertimiento de mercurio por la minería, uso de químicos en cultivos y el uso de agroquímicos, donde la mayor parte de los componentes presentes lo suelen constituir la materia orgánica, los nutrientes, los metales, microorganismos y los sólidos en suspensión.

Índice de Calidad del Agua (ICA)

Según el IDEAM (2011), el Índice de Calidad del Agua (ICA) es el valor numérico entre 0 y 1, que califica la calidad del agua de una corriente superficial, en términos del bienestar humano, independiente de su uso. Con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de seis (o cinco) variables fisicoquímicas registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t. El cálculo de ICA incluye la ponderación de seis variables: oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, sólidos totales en suspensión, pH y la relación NT/PT (IDEAM, 2014). Las ponderaciones en cada caso se muestran en la **Tabla 1**.

Los resultados finales se clasifican según el valor arrojado por el ICA de 0 -1 donde valores cercanos a 0 son indicativos de mala calidad del agua y, por el contrario, cercanos a 1 indican buena calidad del agua. En la **Tabla 2** se muestran los valores en cada clasificación y la señal de alerta para cada caso.

Tabla 1. Variables y ponderaciones de las seis variables para ICA

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto (O.D)	% saturación	0,17
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	0,17
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	0,17
NT/PT	-	0,17
Conductividad eléctrica (C.E)	µS/cm	0,17
pH	Unidades de pH	0,15

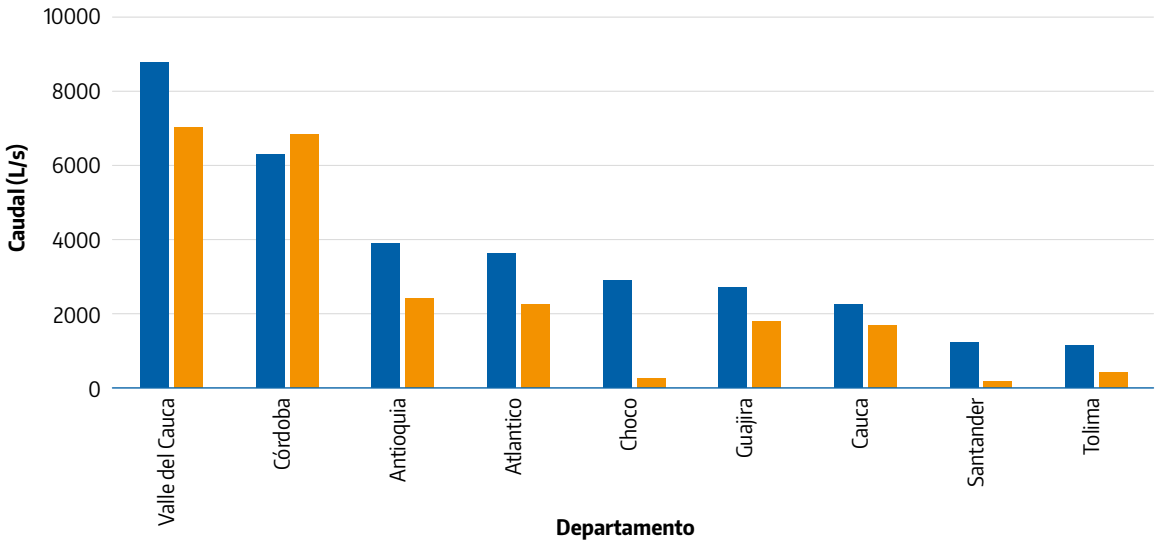
Fuente IDEAM, 2011.

Tabla 2. Calificación de la calidad del agua según los resultados finales del ICA

Resultado del ICA	Clasificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente IDEAM, 2011.

Figura 3. Caudales de diseño y tratamiento en los principales departamentos de Colombia



Fuente: Modificado de SSPD, 2014

Según estudios realizados por el IDEAM (2012), se calculó el ICA en 226 estaciones de 153 corrientes de agua en Colombia, dentro de las cuales 36% de las corrientes arrojó valores de ICA entre 0,71-0,83 clasificándolas como fuentes de agua aceptable; 41% de las corrientes obtuvo un ICA entre 0,51-0,70 indicando una calidad del agua regular; 22% de las corrientes obtuvo un ICA entre 0,27-0,50, indicando condiciones de calidad del agua malas; y, finalmente, 1% obtuvo un ICA clasificado como muy malo, el cual corresponde a la corriente del Río Bogotá en la estación Alicachín el Salto. Es de resaltar que los ríos Bogotá y Sogamoso presentaron valores de ICA bajos, lo cual está asociado a las descargas de vertimientos provenientes de grandes ciudades; por el contrario, el ICA más elevado (0.86) se encontró en el Río Sombrerillos, en el sector de San Agustín en el Huila.

Índice de la alteración potencial de la calidad del agua IACAL

El Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL) hace referencia a la presión sobre las condiciones de calidad de agua en los sistemas hídricos superficiales del país. Se evalúa a partir del promedio de las jerarquías asignadas a las cargas contaminantes de materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes, ejercidas por el sector doméstico de 1099 municipios y el industrial (a 4 dígitos CIIU23) de 186 municipios y agrícola (café y cultivo de coca) (IDEAM, 2011).

Panorama del tratamiento de las aguas residuales en Colombia

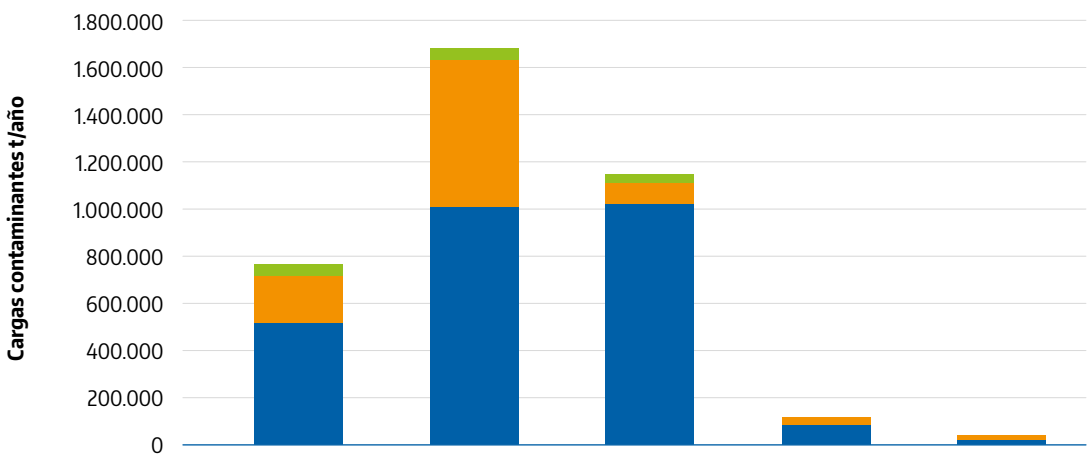
Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) (2014), en Colombia 492 municipios cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, lo que equivale a tan sólo 44% del total de los municipios (1.122 municipios registrados en el DANE en 2012), mostrando una grave problemática de saneamiento, manejo de vertimientos y calidad del agua de las fuentes receptoras. Estos 492 municipios cuentan con 620 plantas de tratamiento, de las cuales: 29 son plantas de tratamiento de tipo preliminar, lo que representa 4,68% del total, con un caudal medio tratado de 69,30 L/s; 86 son plantas de tratamiento de tipo primario (13,87% del total), con un caudal medio tratado de 109.933,84 L/s; 365 son plantas de tratamiento secundarias (58,87% del total), con un caudal medio de 12.735,88 L/s; 2 plantas son de tipo terciarias (0,32% del total) con un caudal de 2,80 L/s; y, finalmente, 138 plantas no registran información o se encuentran fuera de operación.

Por otro lado, a la fecha sólo en el departamento de Córdoba se ha registrado que el caudal tratado por las plantas de tratamiento es mayor al de diseño (**Figura 3**), lo que supone planes de inversión en infraestructura para garantizar su adecuación y mejoramiento. Las demás plantas existentes en los municipios restantes aún no superan los caudales de diseño, situación positiva ya que puede garantizar el tratamiento de los vertimientos durante algunos años más, lo que significa mejores condiciones en la calidad de las aguas.

La carga total de DBO generada por los sectores domésticos e industrial y cafetero (**Figura 4**) se estimó en 819.235 toneladas al año, de las cuales se removió 11% a través de tratamiento de aguas residuales. Esto significa que la carga orgánica biodegradable vertida a los sistemas hídricos en Colombia durante el año 2008 alcanzó 729.300 toneladas, que equivalen a 2026 toneladas por día. El sector doméstico aportó 65% de la carga contaminante total de DBO; la industria, 29%; y el sector cafetero, 6%. El sector doméstico removió 16% del DBO. La carga total de la demanda química de oxígeno (DQO) vertida a los cuerpos de agua del país durante 2008 se estimó en 1.618.200 toneladas, equivalentes a 4500 ton/día. De esta carga contaminante, la industria aportó 39%; el sector doméstico, 58%; y el sector cafetero, 3% (Orjuela *et al*., 2010). El sector doméstico (aguas residuales municipales) es el principal responsable del vertimiento de carga orgánica en el país, seguido por el sector industrial. Este panorama, acompañado de las bajas reducciones de dichos aportes por el tratamiento de las aguas residuales, genera la necesidad de grandes esfuerzos futuros en el sector del saneamiento hídrico, no sólo en la construcción de nueva infraestructura, sino también en la optimización de infraestructura existente y en la aplicación de nuevos paradigmas como la valorización y aprovechamiento de las aguas residuales.

En 179 municipios (de los 1100) ubicados en 15 departamentos se estimó una carga vertida en 2012 de 205 toneladas de mercurio al suelo y agua, de las cuales 27.5% corresponde al uso para beneficio de la plata y 72.5% al beneficio de oro. Los departamentos con mayor producción de oro y plata son Antioquia con 42 y 53% respectivamente, seguido de Chocó con 37% y 24% y Bolívar con 6% en oro, Caldas con 3% en oro y 13% en plata. Así mismo, el mayor uso de mercurio por beneficio de oro se en-

Figura 4. Cargas contaminantes potencialmente vertidas a las fuentes hídricas en Colombia (t/año), 2012

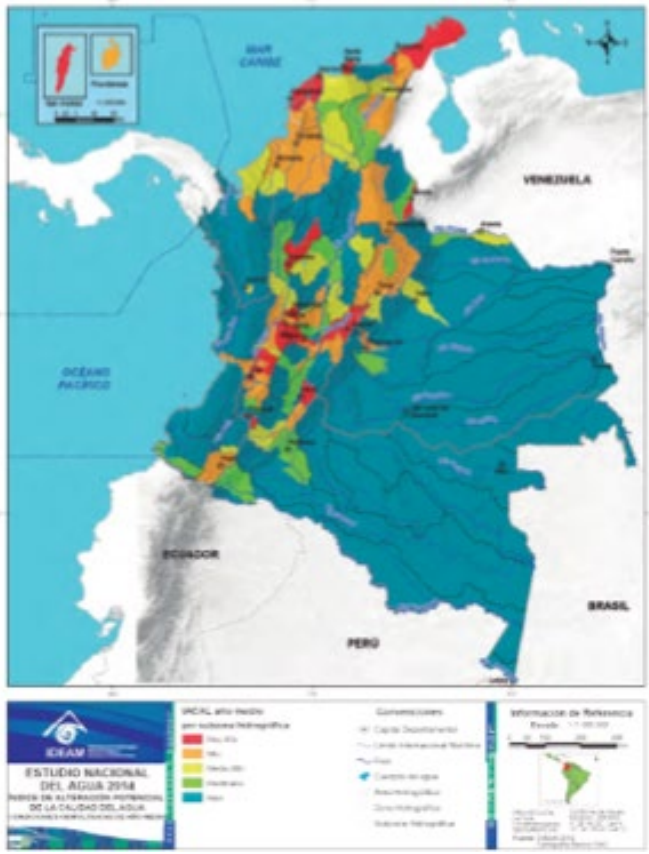


	DBOS	DQO	SST	NT	PT
Café	20.549	26.995	16.663		
Industria	213.857	626.900	84.700	20.216	2.248
Doméstico	522.439	1.021.721	1.034.323	106.139	29.667

Fuente: IDEAM, 2015.

Figura 5. Índices asociados a la Calidad del Agua en Colombia

Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua



Índice de Calidad del Agua

Fuente: IDEAM, 2015.

cuentra en los departamentos de Bolívar (304 t.), Chocó (195 t.) y Antioquia (170 t.) (MADS, 2012).

La demanda potencial estimada de fertilizantes en el año 2012 fue de cerca de 2.516.084 toneladas en presentación sólida y de 2.915 miles de litros en formulaciones líquidas, en su mayor parte (37.5%) compuestos NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio). Uno de los posibles impactos que genera la demanda de fertilizantes sin control, cuando llega a los cuerpos de agua por escorrentía, es la eutrofización en las corrientes de agua superficial, provocando disminución en el oxígeno disuelto y el deterioro en la fauna acuática.

El ENA (2014) ha determinado dos indicadores asociados a la calidad del agua: el Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) y el Índice de Calidad del Agua (ICA), cuyos resultados se observan en la **Figura 5**.

3.2 Agroquímicos

Históricamente, la agricultura ha sido el eje principal para el desarrollo de los países (Pingali, 2006). En este sentido, el Banco Mundial (2008) destaca que la agricultura contribuye al desarrollo general de las naciones de tres formas: como actividad económica, como medio de subsistencia y como proveedor de servicios ambientales. En el año 2012, Colombia se consolidó como la quinta economía más grande de Latinoamérica y, en este contexto, la agricultura representó 7% del PIB del país (OECD, 2014).

En términos de recursos hídricos, los principales agentes contaminantes a nivel agrícola lo constituyen los desechos de animales, los antibióticos, las hormonas, los fertilizantes y los plaguicidas que se usan para fumigar los cultivos forrajeros (FAO, 2012), al igual que los insecticidas utilizados para la erradicación de plagas que atacan a los cultivos y animales. De esta manera, Colombia se posiciona

como uno de los principales consumidores de fertilizantes químicos de Latinoamérica, donde se estima que aproximadamente 70% del nitrógeno y fósforo aplicado en los cultivos se pierde por procesos principalmente de escorrentía y lixiviación, lo que trae como consecuencia el aumento en la eutrofización de los cuerpos de agua. Adicionalmente, en la reforma tributaria de 2012 se eliminó el IVA para fertilizantes y plaguicidas, lo que ha generado una excesiva utilización de dichos productos configurando un subsidio con impacto negativo en el medio ambiente (OCDE, 2014). Desde 2007 se inició la regulación denominada "Responsabilidad extendida del productor REP", de principio en el ramo de los empaques de plaguicidas y plaguicidas vencidos; dicha regulación obliga al productor a retirar los recipientes usados, con la meta de alcanzar 75% de recipientes recolectados en 2019 (OCDE, 2014).

Por otro lado, los cultivos ilegales demandan la aplicación de importantes cantidades de agroquímicos, tanto en el cultivo mismo, como en los esfuerzos por erradicarlos. Un buen ejemplo es la fumigación aérea y manual de los cultivos de coca utilizando glifosato. En los cultivos de coca se estimó para el año 2012 una aplicación de plaguicidas de 344.000 kg en polvo y 677.000 litros en presentación líquida (IDEAM, 2015). Existe desde el Ecuador, Perú y Brasil un tráfico ilegal de plaguicidas aplicados en los cultivos de precursores de drogas; obviamente no se tiene información precisa de dichas cantidades (Ministerio del Medio Ambiente, 2000).

La actividad ganadera figura entre los sectores más perjudiciales para el medio ambiente, contribuyendo entre otros aspectos a la contaminación del agua (FAO, 2012). En Colombia, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corpoica (2002), se está aprovechando alrededor de 45% del territorio para la actividad ganadera bovina, distribuida en 96,2% en extensiva y 3,8% en intensiva (Cuenca *et al.*, 2008), esta situación ha generado la sustitución de bosques, ocasionando grandes impactos sobre el ambiente y, en especial, por la aplicación de fertilizantes y plaguicidas para el control de plagas que afectan los pastos.

Producción y venta de plaguicidas químicos de uso agrícola

Los datos suministrados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) permiten dimensionar el grado de utilización de los plaguicidas en Colom-

Tabla 3. Producción y venta de plaguicidas químicos de uso agrícola y fertilizantes en el año 2013

Insumo	Polvo o granular (kg)		Solución (L)	
	Producción	Venta	Producción	Venta
Plaguicidas	16.593.118	10.458.747	61.876.753	45.384.728
Fertilizantes	1.429.851.104	1.671.955.457	1.802.289	2.617.340

Fuente: ICA, 2014.

Figura 6. Evolución de la venta de plaguicidas en Colombia 2008-2013

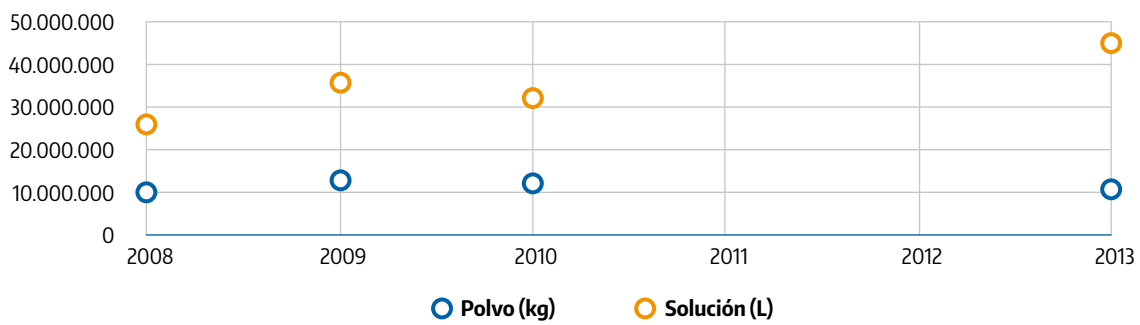


Tabla 4. Clasificación de plaguicidas producidos y vendidos en Colombia por tipo de acción, 2013

Tipo de acción	Presentación sólida (%)		Presentación líquida (%)	
	Producción	Venta	Producción	Venta
Fungicidas	88,74	63,66	24,97	17,48
Insecticidas	10,64	24,73	22,28	14,99
Herbicidas	0,34	11,04	49,94	63,64

Fuente: ICA, 2014.

bia. Dadas las características de pluviosidad, riqueza del sistema hídrico y formas de aplicación de los plaguicidas, existe una probabilidad importante de que estas sustancias alcancen los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos y un ejemplo claro de ello se refiere a las características químicas de los plaguicidas, lo que los hace contaminantes persistentes que resisten en grado variable la degradación fotoquímica, química y bioquímica, por lo que su vida media en el ambiente puede ser elevada (Malato *et al*., 2001; Albert, 1998; y Tomin, 1997). Sin embargo, en las estadísticas disponibles no existen indicadores específicos que permitan identificar el comportamiento de los plaguicidas con respecto al consumo por cultivo, consumo por unidad de superficie o consumo por región o departamento. Estos vacíos de información dificultan la identificación de riesgos y la priorización de soluciones (Ministerio del Medio Ambiente, 2000).

En la **Tabla 3** se presenta, para el año 2013, la producción y venta en Colombia de plaguicidas y fertilizantes según su presentación en polvo o en solución, indicando que en promedio se vende en Colombia 63 y 73% de la producción de plaguicidas en polvo y en solución respectivamente; los porcentajes restantes tienen como finalidad la exportación.

Por otro lado, analizando la evolución de la venta de plaguicidas en el período 2008-2013 (**Figura 6**), se identifica que históricamente la forma de comercialización más usada es la líquida quizás por la facilidad en la manipulación y aplicación, frente a la presentación sólida, la cual requiere una preparación previa más dispendiosa.

En la **Tabla 4** se consigna, para el año 2013, la participación en porcentaje según su uso para los plaguicidas químicos producidos y vendidos en Colombia. En dicha tabla se hace evidente que la mayoría de los fungicidas se comercializa en forma sólida, mientras que los herbicidas se comercializan fundamentalmente en forma líquida.

Tabla 5. Principales ingredientes activos comercializados en 2013 en Colombia

Acción	Ingrediente activo	kg	L
Insecticidas	Clorpirifos	1.707.363	2.961.488
Herbicidas	Glifosato	126.294	9.606.238
	Paraquat	-	2.920.678
	Propanil	96.394	1.696.440
	2,4-D	24.264	3.296.486
	Aminopyralid + 2,4-D	-	2.246.066
	Picloram + ácido 2,4 D	-	2.744.117
Fungicidas	Mancozeb	2.786.243	3.108.146

Fuente: ICA, 2014.

Dentro de los principales ingredientes activos clasificados por tipología de uso y comercializados en Colombia en el año 2013 (**Tabla 5**), sobresalen sustancias activas como Clorpirifos, Mancozeb y Glifosato, siendo el Clorpirifos un insecticida organofosforado, considerado un neurotóxico que inhibe de forma irreversible la enzima acetilcolinesterasa (AChE), esencial para el funcionamiento del sistema nervioso central en los seres humanos y los insectos. El Mancozeb es un fungicida de alto espectro de acción y bajo costo utilizado frecuentemente en suelos destinados al cultivo de hortalizas y algunos tubérculos; su principal problema ambiental es que se degrada rápidamente en un metabolito más tóxico: Etilenotiourea (ETU), de características cancerígenas, teratogénicas y mutagénicas (Domínguez *et al*., 2009). Finalmente, el Glifosato es un herbicida usado comúnmente para la erradicación de los cultivos de coca.

Impactos ambientales

Según el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2015), se ha detectado una mayor presencia de plaguicidas en las corrientes de agua en las zonas cercanas a su aplicación, aumentando el riesgo de intoxicaciones vía agua de consumo humano y afectación de la flora y fauna. La región Caribe continental en Colombia es la receptora de los residuos líquidos de aproximadamente 90% de la población, de la industria y de los principales cultivos (papa, pastos, banano, caña de azúcar, café y hortalizas); las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena concentran la población asentada en las regiones Andina y Caribe (Ministerio del Medio Ambiente, 2000). En esta región, el exceso de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) genera procesos de eutrofización y el mal uso de plaguicidas afecta negativamente especies no blanco de control (Ministerio del Medio Ambiente, 2000).

Alternativas de monitoreo

La evaluación cualitativa y cuantitativa de los plaguicidas en los cuerpos de agua es una labor compleja debido a que se utiliza una amplia diversidad de sustancias (organofosforados, carbamatos y ditiocarbamatos, piretroides, entre otros), por lo que generalmente se deben seleccionar plaguicidas indicadores dependiendo de su consumo, propiedades fisicoquímicas y persistencia en el ambiente (Narváez *et al*., 2012). Otra limitante que se tiene a la hora de monitorear los plaguicidas es que la cantidad de estos contaminantes que es transportada al cuerpo de agua generalmente es pequeña y sus concentraciones están a nivel de trazas y sub-trazas y, finalmente, el plaguicida puede degradarse en los ambientes naturales formando productos de degradación, debido a mecanismos de hidrólisis, fotólisis, óxido-reducción y biodegradación (Narváez *et al*., 2012), por lo tanto, es fundamental, además de monitorear las sustancias parentales, evaluar los principales productos de degradación de los plaguicidas seleccionados como indicadores, pues en muchas ocasiones son más tóxicos y persistentes que las sustancias originales.

3.3 Eutrofización

La eutrofización es el proceso mediante el cual los ecosistemas acuáticos se enriquecen con nutrientes provenientes principalmente de origen doméstico y agrícola, entre los cuales los más importantes son el nitrógeno y el fósforo (**Figura 7**). Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén llenas de nutrientes, porque así podría haber una mayor productividad primaria, pero la situación no es tan sencilla. El problema está en que si hay exceso de nutrientes, crecen en abundancia el fitoplancton y las plantas acuáticas, lo que lleva al ecosistema a un desbalance de respiración y fotosíntesis, con pérdida de oxígeno en la noche y sobresaturación en el día. El exceso de biomasa trae consigo la descomposición de la materia orgánica, lo cual requiere un gran consumo de oxígeno, con producción finalmente de gases como metano y ácido sulfhídrico, originando malos olores y ambientes anóxicos que impiden el desarrollo normal de la fauna acuática (Roldán y Ramírez, 2008).

Fuentes de la eutrofización

La mayor parte de las fuentes de eutrofización corresponde a actividades antrópicas tales como las aguas residuales domésticas e industriales, las aspersiones con pesticidas, los abonos en la agricultura, las prácticas de acuicultura y las actividades mineras, entre otras.

Efectos de la eutrofización

Algunos efectos de la eutrofización son la mortalidad de peces por falta de oxígeno durante la noche, la invasión de los lagos y embalses por la vegetación acuática y “blooms” de fitoplancton. Debido a estos problemas se han presentado recientemente numerosos casos de mortalidad de peces en Colombia, principalmente en el Río Magdalena, embalse de Betania, la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Río Porce.

Posibles soluciones

Ante todo, es la prevención de la entrada de nutrientes a los ecosistemas acuáticos mediante un manejo adecuado de las cuencas. Se deben realizar estudios limnológicos que muestren el estado de eutrofización con el fin de aplicar algunos correctivos. Dentro de ellos están: el uso de herbicidas –pero para grandes extensiones, se ha comprobado su ineficacia y peligro de intoxicaciones–, la remoción mecánica de la vegetación –hasta hora la más efectiva, pero costosa– y la aireación artificial –la cual en grandes extensiones tampoco es efectiva ni práctica–.

Figura 7. Tipos de eutrofización en lagos y embalses

Laguna oligotrófica | Embalse mesotrófico | Laguna eutrófica | Embalse hipereutrófico

Fotos: G. Roldán.

Figura 8. Fuentes de eutrofización en lagos y embalses

Aguas residuales | Aspersión aérea* | Acuicultura | Minería aluvial

Fotos: G. Roldán. *Foto aspersión aérea: fumigacionesx.blogspot.com/p/consecuencias.html

Figura 9. Efectos de la eutrofización en lagos y embalses (Fotos: G. Roldán)

*Mortalidad de peces | Desarrollo de vegetación acuática | Bloom de fitoplancton

*Fuente: Internet.

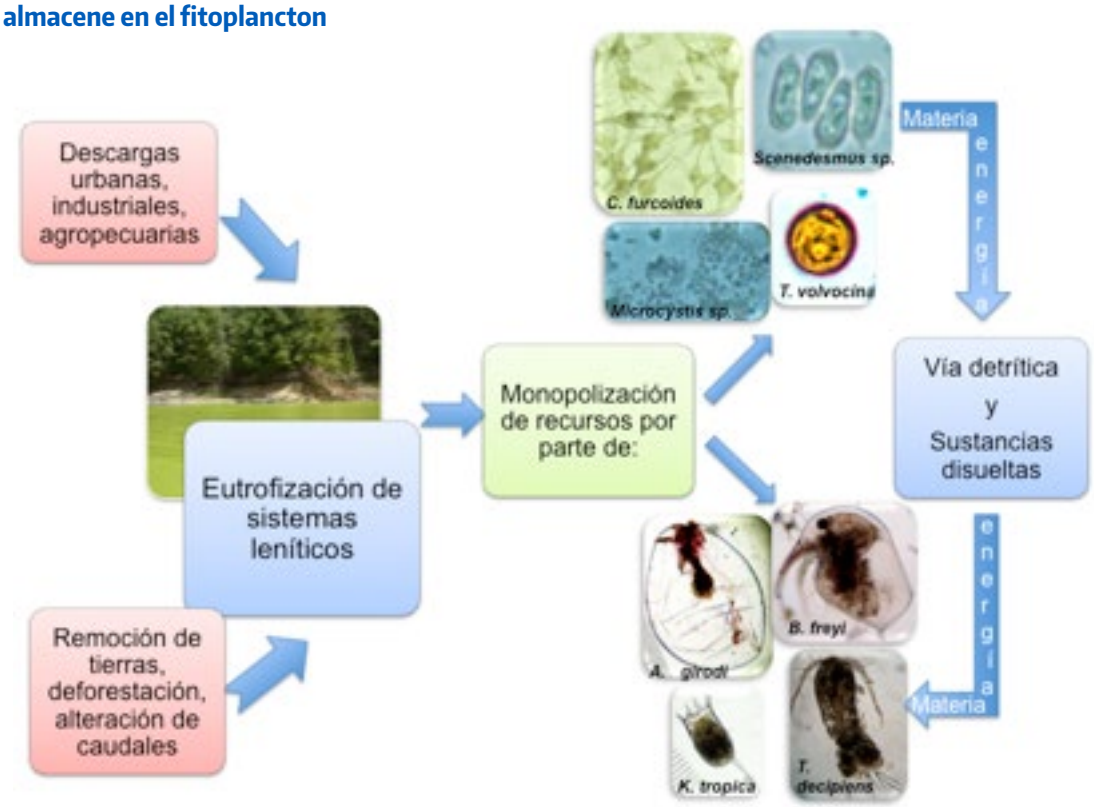
Impacto de la eutrofización en la estructura de comunidades planctónicas en Colombia

Los ecosistemas acuáticos tropicales son naturalmente susceptibles a los procesos de eutrofización al estar sometidos a temperaturas medias anuales elevadas, las cuales promueven periodos de actividad biológica intensos y constantes (Northcote, 1991).

Figura 10. Algunos correctivos para la eutrofización

Fotos: G. Roldán. *Fuente: Internet.

Figura 11. Las redes tróficas muestran que es posible que el flujo de energía, de carbono y de nutrientes se almacene en el fitoplancton



Fotografías del zooplancton, fuente: Silvia Villabona González. *Fotografías del fitoplancton*, fuente: Mónica Tatiana López y Cristina Gil, Universidad Católica de Oriente.

Particularmente, en investigaciones de ecosistemas lénticos del país sometidos a procesos de eutrofización por impactos directos e indirectos tales como descargas urbanas, industriales y agropecuarias y a procesos de remoción de tierras, deforestación y alteración de los caudales, se han hallado comunidades planctónicas con una baja representatividad de taxones (fitoplancton: 21 especies, zooplancton: 10 especies) y dominadas por pocas especies que ocupan efectivamente un amplio espectro de nichos y monopolizan los recursos disponibles (Rodríguez-Sambrano y Aranguren-Riaño, 2014).

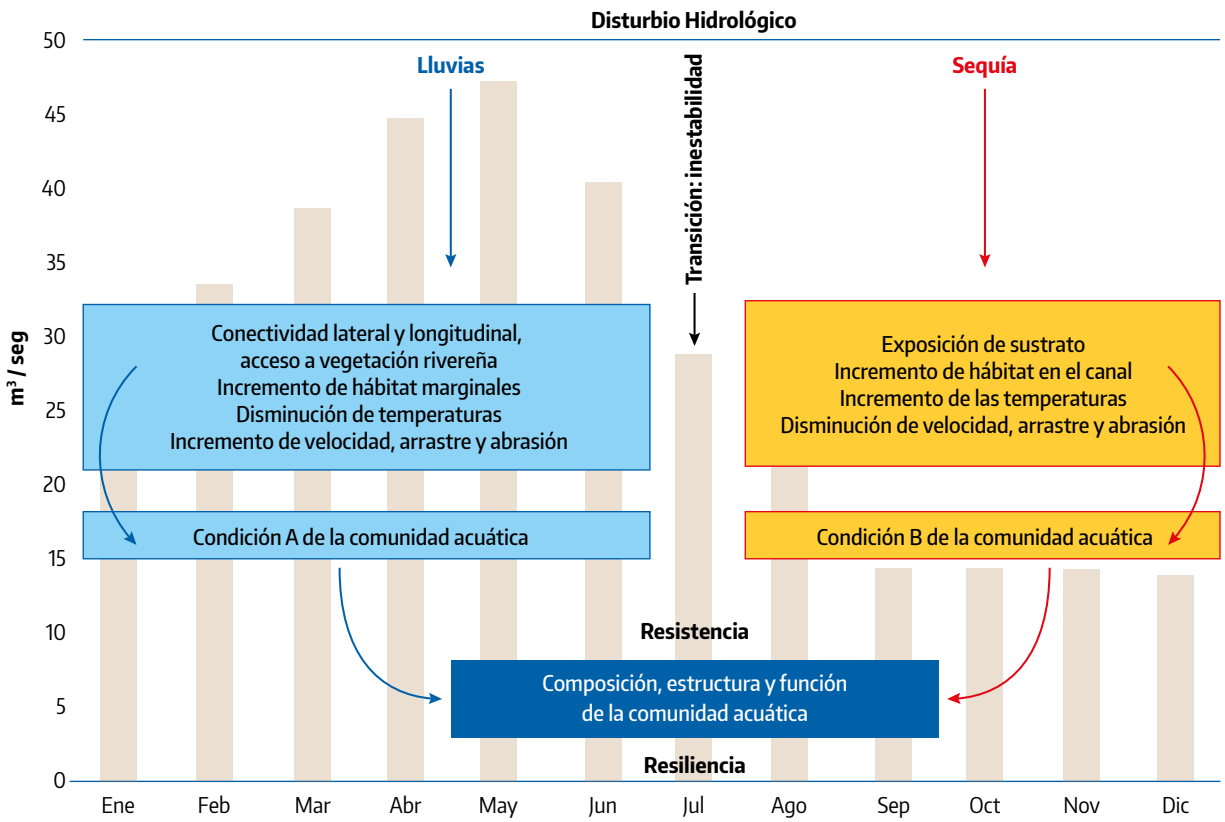
De esta manera, en este tipo de sistemas se han identificado taxones de fitoplancton asociados a condiciones eutróficas como *Coelastrum microporum* (Clorophyta), *Euglena* sp., *Trachelomonas volvocina* (Euglenophyta) (Rodríguez-Sambrano y Aranguren-Riaño, 2014), *Ceratium furcoides* (Dinophyta) (Bustamante-Gil *et al*., 2012) y *Dactylococcopsis acicularis* (Cyanophyta), al igual que géneros como *Microcystis* y *Scenedesmus* en general (Vásquez, Ariza y Pinilla, 2006).

Dentro del zooplancton se han hallado dominando la densidad, y en algunos casos la biomasa, rotíferos como *Asplanchna girodi* y *Keratella tropica*, cladóceros como *Bosmina longirostris* (posiblemente *B. freyi*) y *Ceriodaphnia cornuta* y copépodos como *Metacyclops mendocinum* y *Thermocyclops decipiens* (Guevara, Lozano, Reinoso y Villa, 2009; Rodríguez-Sambrano y Aranguren-Riaño, 2014; Villabona-González, Buitrago-Amariles, Ramírez-Restrepo y Palacio-Baena, 2014; Villabona-González, Ramírez-Restrepo, Palacio-Baena y Costa Bonecker, 2015). Adicionalmente, se ha reportado que la biomasa zooplanctónica, en especial la de los microcrustáceos, se ve afectada por los procesos de eutrofización, pues ésta se incrementa con el estado trófico y, a su vez, coincide con el incremento de la biomasa fitoplanctónica (Villabona *et al*., 2015).

En cuanto a las redes tróficas, se encontró que es posible que el flujo de energía, carbono y nutrientes que almacena el fitoplancton esté orientado principalmente a la vía detrítica y a las sustancias disueltas y que, por tanto, estas últimas sean la principal fuente de carbono para el zooplancton (**Figura 11**) (Villabona-González *et al*., 2015; López-Muñoz, Ramírez-Restrepo, Palacio-Baena, Echenique, De Mattos-Bicudo y Parra-García, 2016).

Es claro que el impacto de la eutrofización limita significativamente la totalidad de los servicios ecosistémicos que puedan brindar estos sistemas acuáticos, en atención a la pérdida gradual a nivel

Figura 12. Modelo general de la relación entre la variabilidad de los caudales en un río andino y algunos aspectos ecológicos que definen la estructura de la comunidad acuática a lo largo del ciclo hidrológico



espacio-temporal del potencial de la oferta hídrica y de los recursos hidrobiológicos que se puedan generar.

3.4 Efectos ecológicos

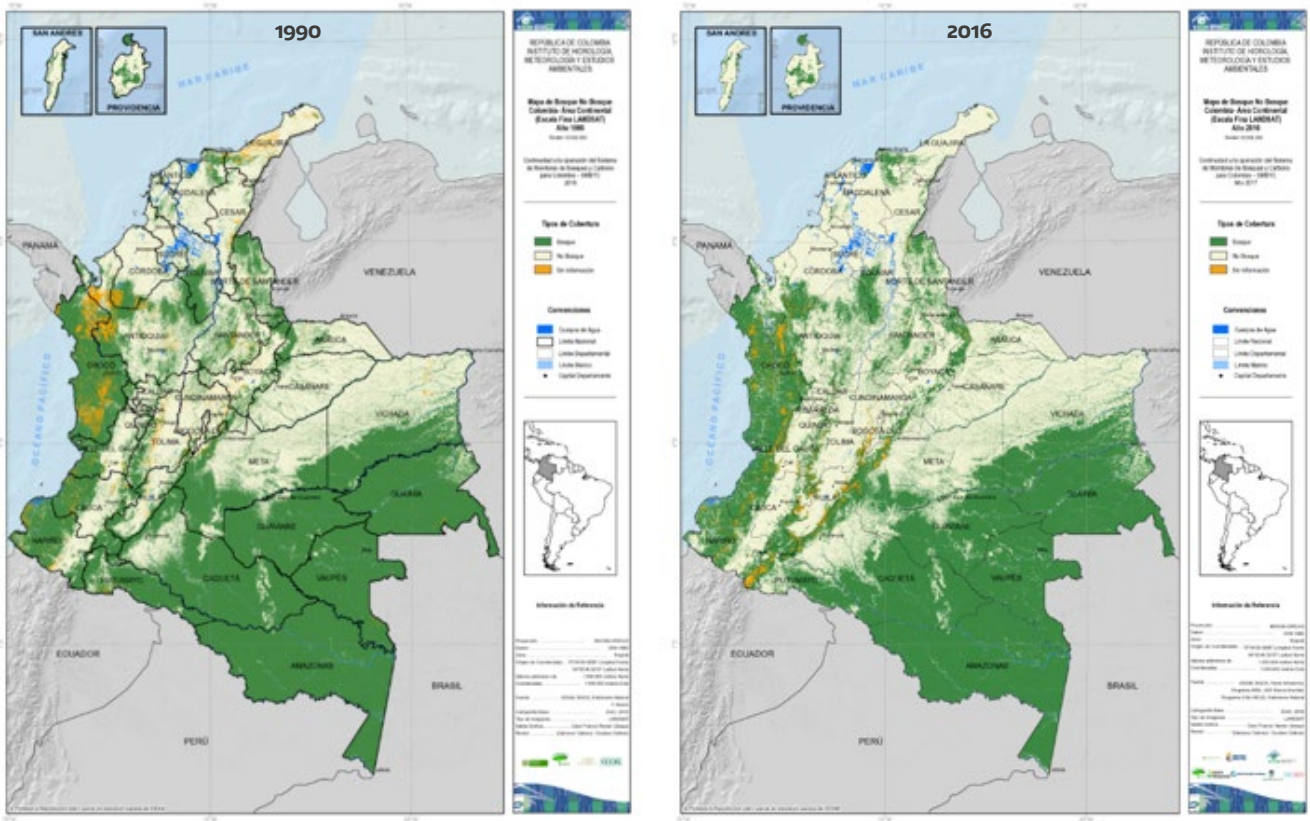
La hidrología es un factor de suma importancia en la integridad de los ecosistemas acuáticos, ya que determina aspectos de la hidráulica, la geomorfología y la fisicoquímica de las aguas y, por ende, la ecología del sistema. Algunos estudios sobre el recurso hídrico en Colombia han hecho evidente la importancia de este factor en la conservación tanto del recurso como de los ecosistemas acuáticos, así como el grado de amenaza que enfrenta. El Instituto Humboldt (Colombia anfibia, 201) hace una valoración del grado de transformación de los humedales colombianos y reveló que 24,2% (correspondiente a 7.332.656 ha) de éstos ha sido transformado, especialmente en el centro-occidente del país, e identificó cuatro grandes impulsores de transformación: la demanda hídrica, la contaminación, la sobreutilización del suelo y la pérdida y/o modificación del ecosistema. Los impactos asociados con la alteración hidrológica (alteración de caudales) corresponden a este último impulsor que, según el estudio, es el de principal incidencia en los humedales interiores colombianos, en particular, los valles interandinos y las planicies de los llanos orientales, seguidos de lagunas costeras y manglares.

En los ríos andinos neotropicales es poco conocida la influencia relativa de las variables físicas y químicas asociadas al ciclo hidrológico (**Figura 12**). Salvo unos pocos estudios como los de Lowe-McConnell, 1979,1999; Rivera-Rendón *et al*., (2004); Pouilly *et al*., (2006); Domínguez y Fernández (2009); Ríos-Pulgarín (2015) y Ríos-Pulgarín *et al*., (2016). Este vacío de información respecto a los patrones de respuesta de las diferentes comunidades acuáticas locales ha llevado a generalizar patrones encontrados en otros sistemas, sin considerar las particularidades regionales y causando una falta de congruencia entre la escala de conocimiento ecológico y aquella en que se hacen los esfuerzos de gestión, manejo, conservación y restauración de nuestros ríos (Ríos-Pulgarín, 2015).

Otras variables ambientales asociadas al ciclo hidrológico, como el oxígeno disuelto, son fuertemente influenciadas por la aparición cíclica de los fenómenos de El Niño y la Niña / Oscilación del Pacífico (ENSO), que afecta las condiciones hidrológicas regionales, con efectos complejos sobre los ecosistemas de agua dulce (Blanco, 2003). Los estudios de Ríos-Pulgarín *et al*. (2016) concluyen que la variabilidad climática relacionada con ENSO está asociada con una variabilidad sustancial en el flujo, la temperatura y la composición química del agua, en los ríos de piedemonte andino, pero con particularidades propias para los ríos torrenciales en cuencas con depósitos volcánicos.

En cuanto a sus efectos biológicos, se ha demostrado que las inundaciones –durante la fase húmeda del fenómeno ENSO (La Niña)– reducen el número y la diversidad de invertebrados bentónicos tanto en ríos andinos (Ríos-Pulgarín *et al*., 2016) como en ríos de Nuevo México (Moles, 1990), y la tasa de recuperación posterior a las inundaciones por parte de las comunidades parece depender de la frecuencia local de las mismas. Uno de los pocos estudios realizados en la región andina sobre estos efectos fue el desarrollado en una corriente de bosque seco en la cordillera occidental colombiana durante los fenómenos ENSO de 1997-1999 (Blanco, 2003) y el estudio de Ríos-Pulgarín *et al*. (2016) en el Río Guarinó, piedemonte de la cordillera central, durante el periodo ENSO 2007-2010. En dichos estudios se encontró variabilidad espacial en la respuesta de las asociaciones de organismos acuáticos. Particularmente, el estudio de Ríos-Pulgarín *et al*. (2016) identificó cambios en las asociaciones de peces, macroinvertebrados y perifiton que fueron directamente relacionados con el período ENSO, pero con respuestas diferenciadas entre las comunidades bentónicas y la ictiofauna. Valores máximos de abundancia de ficoperifiton y macroinvertebrados se presentaron durante el Niño (2009-2010), debido a condiciones hidrológicas relativamente estables, menor profundidad, menor turbidez que favorece la fotosíntesis y mayor temperatura. Mientras que los caudales altos favorecieron a los peces debido al incremento de la oferta de hábitat, sin embargo, afectaron al bentos debido al incremento del arrastre. El aumento en los caudales afecta específicamente la abundancia por la frecuencia o magnitud de la inundación que limita la colonización de sustratos más inestables (Blanco, 2003; Biggs *et al*., 2005). Sin embargo, para muchos grupos, los valores de diversidad no reflejan la variabilidad debido al recambio de especies que altera la composición

Figura 13. Mapa que muestra la deforestación en Colombia entre 1990 y 2016



Fuente: IDEAM, 2014.

en función de las adaptaciones a diferentes condiciones, pero no afecta la riqueza.

3.5 Deforestación

En Colombia, la deforestación se ha incrementado en los últimos años debido a las "necesidades" y espíritu expansionista del ser humano. Algunas de las actividades conectadas con este fin serían la ampliación de la frontera agrícola, el establecimiento de monocultivos, las necesidades alimentarías asociadas al crecimiento demográfico, la sobreexplotación de los recursos minerales y el establecimiento de cultivos ilícitos, entre otros. La expansión de la frontera agrícola y pecuaria, así como la colonización contribuyen 73% al grado de la deforestación en Colombia, trayendo como consecuencia las alteraciones climáticas, los ciclos del agua, el carbono y el nitrógeno (Romero *et al*., 2008).

Claramente, la deforestación de los bosques tropicales es una gran amenaza con consecuencias adversas para todos los niveles del relacionamiento ecológico con los cuales se interactúa; entre ellos, la calidad fisicoquímica y biótica del recurso hídrico en las diferentes cuencas afectadas por esta problemática. Es notorio cómo en diversos estudios de las autoridades ambientales –del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y demás entidades relacionadas con los recursos naturales– las cifras de deforestación en el país van en aumento (**Figura 13**) La **Tabla 6** muestra la evolución de la deforestación entre 1990 y 2013.

Según el IDEAM, la deforestación histórica para el periodo comprendido entre 1990 y 2013, el país ha perdido 6.095.312 ha de bosque natural con un promedio anualizado de cerca de 265.000 ha por año (**Tabla 6**). De acuerdo con los datos generados por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), existe evidencia de que la tasa de defores-

tación anualizada ha decrecido, siendo el periodo más crítico 2000-2005 con una pérdida de -0,52%, frente a -0,21% registrado en 2012-2013 (Galindo *et al*., 2014).

El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC e IDEAM) divulga periódicamente las Alertas Tempranas de Deforestación (AT-D), las cuales son una herramienta para la toma de acciones tendentes a reducir la deforestación en Colombia; estos informes se realizan empleando imágenes de sensores remotos. A nivel departamental, se destaca que la tendencia regional detectada de las alertas por deforestación indica que, para 2014, 70% se concentra en siete departamentos: Putumayo, Caquetá, Nariño, Meta, Chocó, Antioquia y Guaviare (IDEAM, 2015).

Algunos otros estudios, con un nivel de sectorización más específico, indican tasas anuales de deforestación en la Amazonia colombiana de 3,73 y 0,97% en las áreas de alto crecimiento de densidad poblacional del alto Putumayo y Macarena, respectivamente, y 0,31, 0,23 y 0,01% en las áreas relativamente poco pobladas de la población indígena (Armenteras, Rudas, Rodríguez, Sua y Romero, 2006); estas cifras son de un total de 4.200.000 ha, área cuantificada a partir de sistemas de teledetección y de información geográfica.

La deforestación en Colombia ha sido un proceso que ha sido dinamizado por diferentes causas directas o indirectas. Los determinantes de este fenómeno son principalmente económicos y están relacionados con procesos de acomodación de las fuerzas productivas en el país, a saber: pastos, expansión y control de los cultivos ilícitos, expansión agroindustrial, entre otros (IDEAM, INVEMAR, SINCHI, IIAP, IAvH, 2016).

En Colombia, los departamentos con magnitud de erosión superior a 70% con respecto a su área son: Cesar, Caldas, Córdoba, Cundinamarca, Santander, La Guajira, Atlántico, Magdalena, Sucre, Tolima, Quindío, Huila y Boyacá. En términos generales, 40% –equivalente a 45.379.058 ha de la superficie continental e insular de Colombia– presenta algún grado de degradación de suelos por erosión. De esta parte del territorio afectado, 20% (22.821.889 ha) presenta erosión ligera, 17% (19.222.575 ha) erosión moderada, 3% (3.063.204 ha) erosión severa y 0,2% (271.390 ha) erosión muy severa (IDEAM, MADS, U.D.C.A, 2015). Algunos otros trabajos también dan cuenta del aumento en aportes de sedimentos en las diferentes cuencas de los Andes colombianos en los últimos 30 años, todos éstos asociados a procesos de deforestación (Restrepo y Escobar, 2016).

Estudios recientes han estimado que 9% de la carga de sedimentos en la cuenca del Río Magdalena se debe a la deforestación; se produjeron 482 toneladas (T) de sedimentos debido a la separación forestal en las últimas tres décadas. Las tasas de erosión en la cuenca de drenaje del Magdalena han aumentado 33% entre 1972 y 2010, incrementando la carga de sedimentos del río en 44 T/año. Gran parte de la cuenca fluvial (79%) se encuentra bajo severas condiciones de erosión debido en parte a la eliminación de más de 70% de bosques naturales entre 1980 y 2010 (Restrepo, Kettner, Syvitski, 2015).

Tabla 6. Evolución de la deforestación en Colombia

Periodo	Superficie cubierta por bosque natural (ha)	Superficie deforestada (ha)	Promedio anual de deforestación (ha/año)
1990 2000	64.128.972 61.474.388	2.654.584	265.458
2000 2005	61.811.060 60.232.884	1.578.176	315.635
2005 2010	60.449.256 59.039.119	1.410.137	282.027
2010 2012	60.036.759 59.704.620	332.139	166.070
2012 2013	58.936.251 58.815.317	120.934	120.934

Fuente: IDEAM (2014)

Todos estos aportes alóctonos de sedimentos dan como resultado una disminución en la calidad ambiental y fisicoquímica de las fuentes hídricas; esto asociado a los altos niveles de turbidez que producen en las fuentes receptoras y a repercusiones ecológicas, físicas y químicas relacionadas con una mayor magnitud en variables de interés ambiental como los sólidos en suspensión, conductividad, disponibilidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo), aumento en la demanda de oxígeno biológica y química (DBO5 y DQO, respectivamente), entre otras.

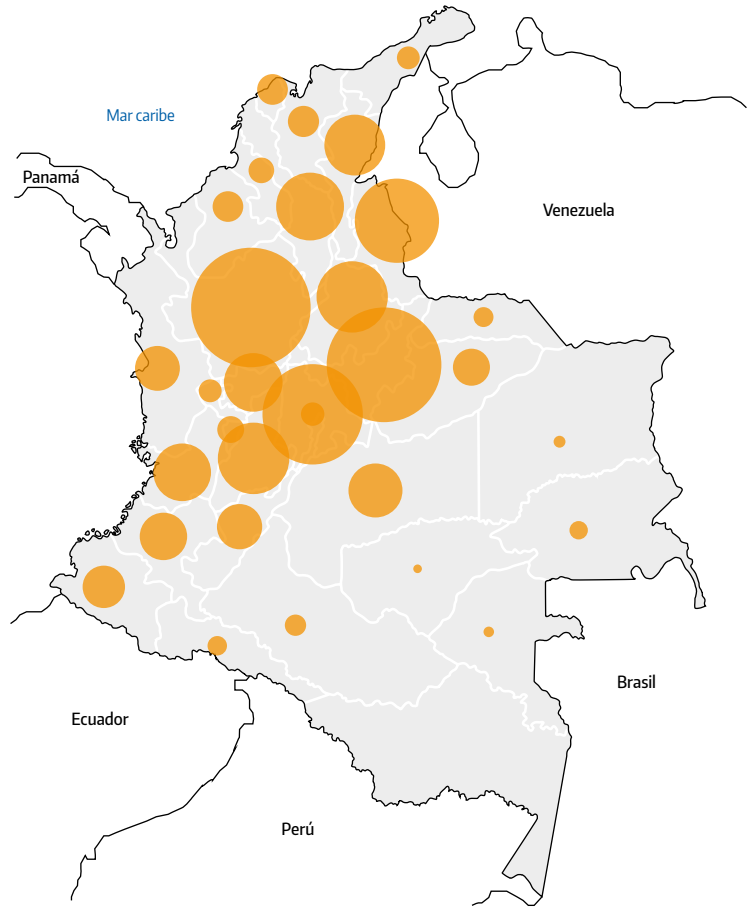
3.6 Metales pesados

La carga de sólidos asociada a los procesos de deforestación no es la única fuente de contaminación que puede afectar la calidad del agua; de acuerdo con el tipo de uso de la tierra, diversas concentraciones de otros contaminantes también pueden drenarse a la corriente. Tal es el caso de los procesos mineros, actividad que aporta una cantidad considerable de metales pesados a las fuentes hídricas adyacentes al proceso extractivo. La presencia en los recursos hídricos de metales pesados y sustancias orgánicas complejas, entre otras, han sido responsables de innumerables situaciones de impacto sobre el ecosistema acuático y la salud pública en general (Thomann, 1982).

En Colombia se han realizado diversos estudios tendentes a cuantificar las concentraciones de metales pesados en agua, sedimentos y tejidos de peces. Dentro de los más destacados se encuentran los realizados por Galiano-Sedano (1976, 1977), Investigación sobre el contenido de mercurio, y Galiano-Sedano (1979), Estudios sobre la contaminación de residuos industriales, en aguas de los ríos colombianos.

Otras investigaciones, como las de Pulido (1985) y Universidad de Antioquia (1988) sobre la cuenca del Río Cauca, dan cuenta de las altas concentraciones de mercurio encontradas en aguas y sedimentos especialmente de la región del bajo Cauca Antioqueño, donde se cuantificaron aportes de mercurio metálico de 270 kg/día y 9.553 ton/día de sedimentos. A nivel del territorio amazónico se evaluó la concentración de mercurio total en muestras de agua, sedimento y especies de peces de diferentes niveles tróficos en cuatro localidades de la Amazonia colombiana. Los valores de mercurio total en agua no superaron los 0.001mg/l. En sedimento, las concentraciones estuvieron entre 0.0016 y 0.0591 mg/kg Hg que a la luz de normas internacionales se registra como un efecto de bajo riesgo (Núñez-Avellaneda, Agudelo y Gil-Manrique, 2014). La **Figura 14** muestra el mapa minero en el país y la **Figura 15** muestra un escenario de la minería en el Chocó.

Figura 14. Mapa minero de Colombia (2016)



Fuente: www.portafolio.co/negocios/mapa-minero-en-colombia-2016-501060

Los aportes continentales fruto de la erosión y lixiviación de suelos por la tala indiscriminada de bosques en las cuencas de los ríos Magdalena-Cauca, Sinú-San Jorge, Atrato y Orinoco, la minería del oro, la explotación petrolera, las actividades agropecuarias y la creciente actividad industrial de las ciudades capitales, así como de las portuarias, han comenzado a generar problemas ambientales muy diversos (Mancera-Rodríguez, Álvarez-León, 2006). Se calcula que entre 1980 y 2000, la colonización sólo en la cuenca del Río Magdalena ha destruido

Figura 15. Escenario de la minería de oro en el Chocó

Fuente: https://www.noticiasrcn.com/nacional-regiones-pacifico/mineria-ilegal-e-informal-amenaza-los-rios-del-choco

3,5 millones de hectáreas de bosques, el transporte de sedimento alcanza las 133.000 ton/año y, en varias estaciones del río, la concentración de metales pesados (cadmio, hierro, mercurio, plomo, zinc) supera los niveles permitidos en aguas naturales (Departamento Nacional de Planeación, 1995).

3.7 Contaminantes emergentes

Actualmente existe un creciente interés por los contaminantes emergentes (CE), ya que son compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia en el medioambiente, o las posibles consecuencias de los mismos, han pasado en gran medida inadvertidas, causando problemas ambientales y de riesgo para la salud. Estos compuestos se encuentran diseminados en el ambiente y se han detectado en fuentes de abastecimiento de agua, aguas subterráneas e incluso en agua potable. Son compuestos relativamente poco conocidos, en cuanto a su presencia, impacto y tratamiento. En la mayoría de los casos son contaminantes no regulados, que pueden ser objeto de futuras regulaciones, susceptibles a la realización de más investigaciones sobre sus efectos potenciales en la salud y el monitoreo con respecto a su incidencia, por lo tanto, son susceptibles de investigación. Algunos de los principales son pesticidas, productos farmacéuticos, drogas ilícitas, compuestos de "estilo de vida", aseo personal y otros (Gil *et al.*, 2012).

El artículo de Gil *et al.* (2012) menciona que el glifosato es ahora el herbicida más usado en el mundo, con aumentos dramáticos en su uso agrícola desde la introducción de cultivos resistentes al glifosato. La degradación microbiana produce amino metilfosfónico (AMPA) y se ha comprobado que el AMPA causa problemas en la salud. La alta solubilidad en agua del glifosato y su metabolito ha significado que el análisis sea difícil.

En Antioquia, en un estudio realizado en el municipio de San Pedro, preocupa el uso de manera frecuente de plaguicidas de toxicidad alta como Lorsban (Clorpirifos), Ráfaga (Clorpirifos), Látigo (Clorpirifos), Neguvon (Metrifonato), Furadán (Carbofurán), Ganabaño y (Cipermetrina), que luego son arrastrados por las lluvias y van a parar a las aguas residuales y los ríos.

En Colombia, en una investigación realizada en el Hospital Universidad del Norte en Barranquilla, se encontraron en los efluentes que se descargan al sistema de alcantarillado de la ciudad y éste, a su vez, al río, sustancias de origen farmacéutico, que evidencian que los sistemas de tratamiento de aguas residuales deben ser repensados. Las sustancias de mayor uso en un hospital de esta categoría son los analgésicos, antiinflamatorios como el diclofenaco, ibuprofeno y otros medicamentos como la aspirina, antisépticos como el triclosán, hormonas como el estriol y el estrona, estimulantes como la cafeína, y otras drogas de uso lícito en centros hospitalarios como la morfina. Asimismo, al realizar la caracterización química y biológica del agua residual del hospital se observó la presencia de metales pesados (mercurio, platino, gadolinio), anestésicos (alquilfenol, propofol), citostáticos, desin-

fectantes, analgésicos y antiinflamatorios, medios de contraste y compuestos orgánicos absorbibles.

Tanto las drogas ilícitas como sus metabolitos son muy recalcitrantes a la eliminación de tratamientos convencionales fisicoquímicos y biológicos; por lo tanto, es necesario utilizar procesos de oxidación avanzada, ozonización, osmosis, etcétera; sin embargo, la mayoría de los tratamientos no los incluyen debido a sus altos costos, lo que significa que tanto las drogas como los metabolitos son liberados a las aguas superficiales e, incluso, en agua potable.

Existen otros contaminantes emergentes como hormonas, cafeína y nicotina, ingredientes usados en productos de aseo personal, subproductos de desinfección, compuestos industriales y aditivos alimentarios, pero no hay muchos datos o información sobre los mismos.

Considerando que el país dispone de recursos para la construcción de plantas y reactores de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, la búsqueda de tratamientos eficaces para la remoción de los contaminantes emergentes (CE) carece del conocimiento de mecanismos de ocurrencia y transformación de estas sustancias. Es por ello que las investigaciones que se planteen al respecto deben enfocarse en encontrar la manera de adecuar las tecnologías existentes de tratamientos de aguas en procesos avanzados de remoción de los contaminantes emergentes.

3.8 Salinización

La amenaza por el ascenso del nivel del mar en las zonas costera e insular colombianas no sólo se limita a la inundación de algunas áreas, sino también a la erosión de las costas y la salinización de fuentes de agua superficiales y subterráneas.

Un caso específico de este fenómeno de salinización se visualiza en los impactos del complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Para mantener su equilibrio hídrico, esta laguna debe recibir el agua de los ríos que bajan de la sierra. Sin embargo, desde la década de los noventa, finqueros, empresas agropecuarias y habitantes de la zona bananera comenzaron a utilizarlos de manera desproporcionada para sus actividades económicas, lo que redujo dramáticamente el volumen de agua dulce. En los meses de verano, los distritos de riego captan 80% del caudal medio de los ríos. Sólo 40% del volumen captado regresa a los drenajes naturales cargados de agroquímicos. Este aumento de la salinización y la disminución de las entradas hídricas causaron la interrupción de las migraciones de peces para los ciclos reproductivos, lo que sumado al aumento de la presión pesquera y uso de métodos nocivos e ilícitos (dinamita o redes como el boliche) redujo el número de peces y otras especies. De las 126 especies que un día vivieron en esa ecorregión, no se sabe cuántas quedan (http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/cienaga-grande-enferma-cronica/33752).

Otro caso es el acuífero costero del Eje Bananero de Urabá, el cual está localizado al noroccidente del departamento de Antioquia. Este acuífero cubre aproximadamente 1.030 km^2 (103.000 ha) y se caracteriza por ser continental y tener una franja costera que recibe influencia marina. Constituye fuente principal de abastecimiento para la agroindustria del banano y para comunidades urbanas y rurales. En la zona existen alrededor de 550 pozos activos, en su mayoría para satisfacer la demanda del cultivo del banano, uno de los principales productos de exportación del país. La caracterización hidroquímica del acuífero del Eje Bananero de Urabá se hizo sobre la base del muestreo de 26 puntos de aguas subterráneas (conformada por 16 pozos profundos y 10 piezómetros), una muestra de agua de mar y una muestra de agua superficial, distribuidos en un área de 8 916 km^2. Con el análisis y procesamiento de las muestras de agua subterránea en la zona de estudio, ayudados con la evaluación de algunas relaciones iónicas y la integración de información hidrogeológica disponible en el área –como sondeos eléctricos verticales, geología e hidráulica– se evidencia que hay un estado incipiente de posible salinización en el acuífero costero del Eje Bananero. Esto se acentúa en mayor proporción y puntualmente en el sector norte, zona en la que actualmente no se produce una explotación intensiva de los recursos hídricos subterráneos, pero donde en términos preventivos y de gestión se deben establecer mecanismos de monitoreo continuo y una evaluación hidrogeoquímica en el acuífero costero del Eje Bananero de Urabá más detallada para precisar con claridad los procesos, bien sea de salinidad u otros que afecten la calidad de las aguas en esta zona (Paredes *et al.*, 2010).

4. Aspectos sociales y económicos

4.1 Salud

En cuanto a la calidad del agua para consumo humano, la Dirección de Salud Ambiental del Ministerio de Salud realiza un informe nacional consolidado donde el principal indicador es el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), el cual es el indicador del grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

En la **Figura 16**, producto de un estudio de 2015 (Minsalud, 2016) basado en los consolidados departamentales, calculados a partir de las muestras recolectadas de las redes de suministro de los prestadores del servicio en los respectivos municipios objeto de vigilancia por las autoridades de salud, se muestra que:

- 10.0%, que corresponde a 3 departamentos (Quindío, Arauca, San Andrés y Providencia), éstos se clasificaron en nivel sin riesgo entre un rango de 0.0-5.0.
- 26.6% equivale a 7 departamentos (Antioquia, Atlántico, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Risaralda, Santander) y Bogotá D.C., donde se clasificaron en nivel de riesgo bajo que corresponde a un rango de 5.1-14.0.
- 46.7%, que corresponde a 14 departamentos (Bolívar, Boyacá, Caquetá, Cauca, Casanare, Guainía, La Guajira, Magdalena, Meta, Norte de Santander, Sucre, Vaupés,Valle del Cauca y Vichada), éstos se ubicaron en nivel de riesgo medio 14.1-35.0.
- En 16.7% se observaron 5 departamentos (Caldas, Huila, Nariño, Tolima y Putumayo) para los niveles de riesgo alto (35.1-80.0).
- NO se clasificaron departamentos con IRCA en nivel inviable sanitariamente (80.1-100.0).

En el sistema SIVICAP se tuvo reportes de 1.017 municipios (92.2%). El IRCA municipal general (Figura 17) evidenció 279 municipios (27.5%) clasificados en nivel sin riesgo, cumpliendo con los estándares de potabilidad exigidos; en riesgo bajo 177 (17.4%) y en riesgo medio 264 (25.9%). En nivel de riesgo alto se clasificaron 280 municipios (27.5%) y 17 (1.7%) estuvieron inviables sanitariamente. Estos últimos situados en Antioquia (Argelia, Cisneros); Bolívar (Norosí, Santa Catalina, Santa Rosa Del Sur); Caquetá (Morelia); Cauca (Piamonte, San Sebastián, Timbiquí); Cesar (Tamalameque), La Guajira (Dibulla); Magdalena (Sitionuevo, Zapayán); Meta (El Castillo); Nariño (Magüí, Olaya Herrera) y Tolima (Villarrica).

Características microbiológicas y fisicoquímicas básicas en Colombia

De acuerdo con el reporte de Minsalud (2016), al año 2015 en Colombia se analizaron 45.948 muestras, 27.418 de las cuales fueron recolectadas en la zona urbana y 13.805 en el área rural, con 4.725 muestras sin dato del sitio de recolección. Las muestras se evaluaron considerando el porcentaje de aceptabilidad de las principales características microbiológicas y fisicoquímicas: coliformes totales, *E. coli*, color, turbidez, pH, CRL, y considerando los pesos de riesgo relativos de cada una de ellas dentro del indicador IRCA y la estandarización del número, por ser las características mínimas que se deben evaluar por parte de las autoridades sanitarias a todos los prestadores del servicio de acueducto independiente de la población abastecida.

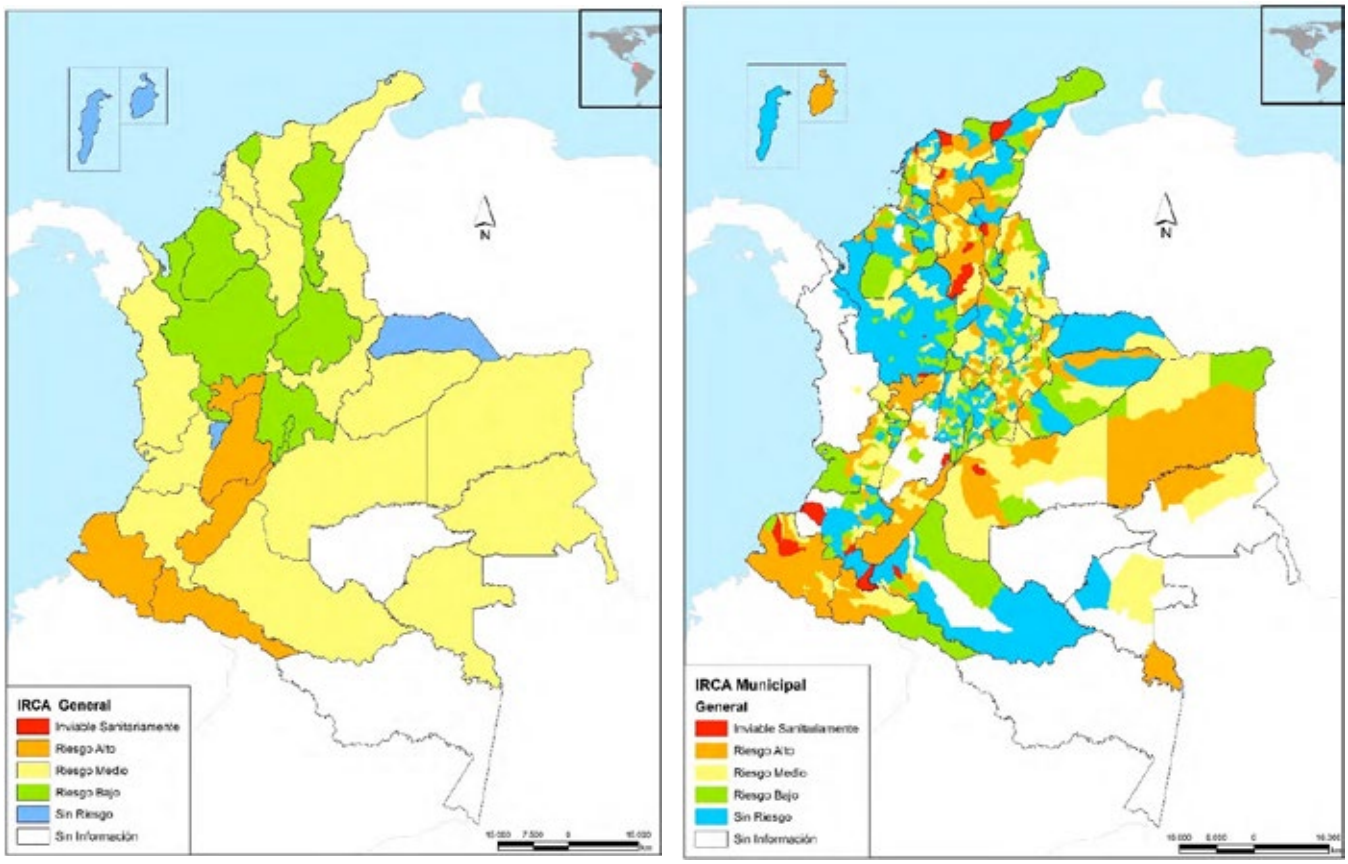
Calidad del agua consumida en Colombia en el año 2015

En la **Tabla 7** se muestra el resultado de la escalera del agua (Minsalud, 2016). Considerando la población total (43´173.748) vigilada en 2015, reveló en el consumo que 30´201.730 habitantes (70.0%) tomaron agua potable, aumentando con relación al año 2014 en que lo hicieron 29´423.817 habitantes (67.28%). Una población de 4´889.175 (11.3%) tuvo agua segura (incluye riesgo bajo y medio). Para 5´496.013 pobladores (12.7%), el agua consumida fue de bajo o nulo tratamiento y 2´586.829 habitantes (6.0%) posiblemente captaron agua directamente de la fuente (muestras inviables sanitariamente).

Enfermedades transmitidas a través del agua en Colombia

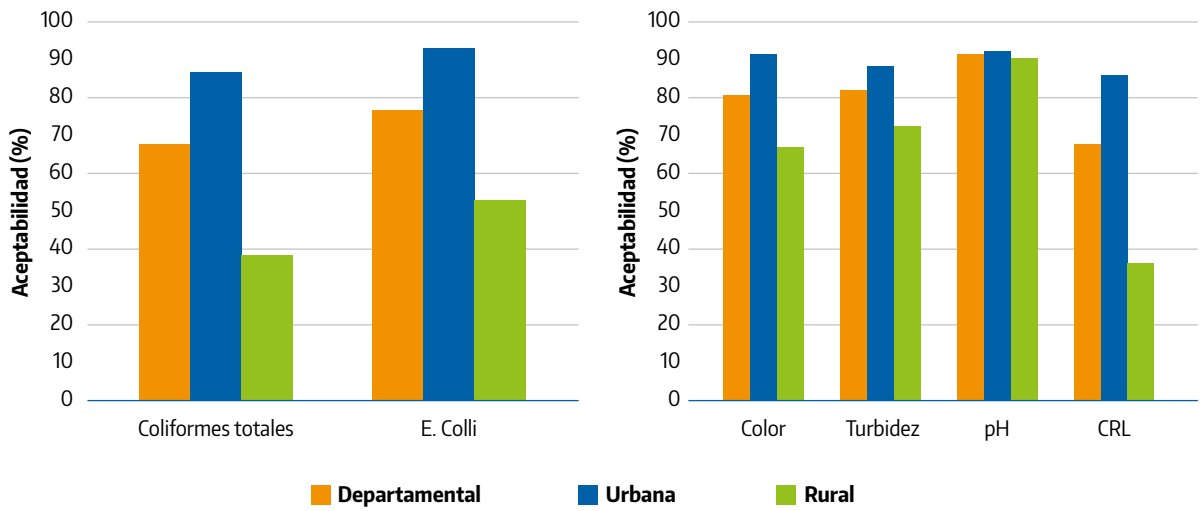
Estudiar las enfermedades transmitidas a través del agua en Colombia permite conocer en qué medida la falta de acceso a agua potable afecta la salud de la población. Un importante insumo para estudiarlas es conocer la incidencia de estas enfermedades en el país; sin embargo, actualmente se desconoce

Figura 16. Distribución de niveles de riesgo por departamento y municipio en Colombia, 2015



Fuente: Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SIVICAP), Grupo Calidad de Agua-DRSP, Instituto Nacional de Salud.

Figura 17. Aceptabilidad de características microbiológicas y fisicoquímicas, 2015



Fuente: SIVICAP, Grupo Calidad de Agua–DRSP, Instituto Nacional de Salud.

Tabla 7. Escalera del agua de consumo humano en Colombia 2015

Vigencia sanitaria		Agua de consumo humano en Colombia											
Método PCM		Agua mejorada						Agua no mejorada				No reportó	
Calidad del agua		Potable		Segura				Entubada		Directa fuente			
Nivel de riesgo		Sin riesgo		Riesgo bajo		Riesgo medio		Riesgo alto		Inviable sanitariamente		Sin información de riesgo	
Nivel	Pob.	%	Pob.	%	Pob.	%	Pob.	%	Pob.	%	Pob.	%	Pob.
Urbana	35,952,016	78.8	28,346,731	1.2	439,271	9.1	3,265,027	7.3	2,614,644	3.6	1,286,342	2.4	894,919
Rural	7,221,732	25.7	1,854,999	1.0	70,099	15.4	1,114,778	39.9	2,881,369	18.0	1,300,487	36.4	4,134,738
Nacional	**43,173,748**		**30,201,730**		**509,369**		**4,379,805**		**5,496,013**		**2,586,829**		**5,029,657**

Fuente: ICA, 2014.

la carga de morbilidad relacionada con ellas debido a que existe un gran número de enfermedades que conforman este grupo, las cuales son vistas de forma independiente. Tal es el caso de la hepatitis A, fiebre tifoidea y paratifoidea, cólera, EDA, cryptosporidiosis, giardiasis, leptospirosis, entre otras. Así mismo, existen dificultades para investigar los factores de riesgo ambientales asociados a las enfermedades, que es esencial para determinar si el origen de éstas está relacionado con el agua. La **Tabla 8** muestra la tasa de incidencia de las enfermedades directamente relacionadas con el agua en Colombia en 2015.

Como puede observarse, la tasa de mayor incidencia en Colombia está asociada a las enfermedades diarreicas agudas, principalmente en Amazonas, Bogotá y Quindío.

4.2 Pobreza

"La única forma de reducir la pobreza es tener acceso a agua potable" dice el profesor Juan Saldarriaga de la Universidad de los Andes (Conferencia de los Sistemas de Distribución de Agua (WSDA), Cartagena, 27 de Julio de 2016). De hecho, el país es uno de los más ricos en agua. Nuestros ríos producen anualmente 50.000 m^3 por persona, los de Alemania 2.000 y los de lugares tradicionalmente secos, como Egipto, apenas 1.000. Sin embargo, el desperdicio de agua en redes de distribución en Colombia es muy alto: 48% de lo que se captura en la fuente de agua se pierde. Ésta es una cifra preocupante si se tiene en cuenta que la tasa aceptable de pérdida está entre 10% y 20%. La ley colombiana establece un tope de pérdida de 30%, lo que indica que existe un desfase de 18%. El cubrimiento es muy bajo, sobre todo en las zonas rurales dispersas. La mejor forma de aumentar la salud de la gente es llevando agua potable a las casas y la única forma de reducir la pobreza es teniendo acceso al agua limpia, dice el profesor Saldarriaga. ¿Por qué la población pobre termina comprando el agua más cara? ¿En dónde está la falla? Esto no sucede en las ciudades, el problema está en las zonas rurales dispersas donde obtener el agua es costoso y la calidad no es óptima. Costoso porque se lleva en carrotanques, burros y mulas, y las personas compran el agua por canecas y baldados. De esa manera el agua es mucho más costosa en metros cúbicos que los estratos más altos de las ciudades (https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/unica-forma-de-reducir-pobreza-tener-acceso-agua-potabl-articulo-645702).

En Colombia, a pesar de que la pobreza y la pobreza extrema disminuyeron gradualmente desde 2009 hasta 2015, todavía el cambio no es significativo. La pobreza disminuyó 21.6% en ese periodo de tiempo y la pobreza extrema (o indigencia) en 9.1%. Sin embargo, a junio de 2015 todavía 13 millones de habitantes se encontraron en situación de pobreza y 3,6 millones en pobreza extrema (**Figura 18**).

En comparación con el promedio de países latinoamericanos, Colombia presenta una mayor pobreza y un mayor número de personas en riesgo de caer en la pobreza, y esto sumado a la inequidad en el acceso al recurso hídrico y, por tanto, al acceso de agua no apta para el consumo humano tiene unas consecuencias graves en la población (Figura 18).

Es por esto que garantizar la disponibilidad del agua es otro de los objetivos con los que Co-

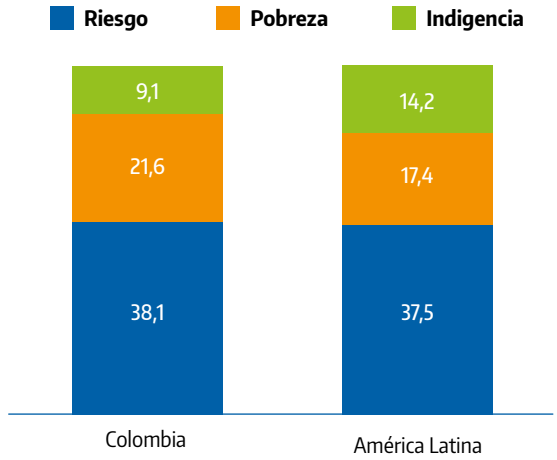
Tabla 8. Tasa de incidencia de las enfermedades directamente relacionadas con el agua en Colombia, 2015

Entidad territorial	Tasa de mortalidad por EDA en menores de 5 años	Tasa de incidencia general de EDA	Tasa de incidencia de cólera	Tasa de incidencia de hepatitis A	Tasa de incidencia de fiebre tifoidea y paratifoidea	Tasa de incidencia de leptospirosis	IRCA
Amazonas	191,8	103,2	0.00	7,9	NN	9,18	NR
Antioquia	22,6	63,7	0.00	5,3	1,29	3,2	6.88
Arauca	120,2	35,5	0.00	1,1	NN	1,1	1.51
Atlántico	4,6	59,1	0.00	3,0	0,08	2,8	10.20
Bogotá	1,7	100,1	0.00	1,2	0,04	0,4	7.35
Bolivar	33,9	49,5	0.00	0,6	0,05	1,7	22.13
Boyacá	NN	50,5	0.00	2,7	NN	0,1	28.03
Caldas	12,6	50,2	0.00	2,7	0,40	0,6	54.26
Caquetá	18,4	56,0	0.00	0,2	NN	0,6	14.98
Casanare	NN	44,2	0.00	2,5	NN	0.00	19.34
Cauca	37,5	45,3	0.00	4,8	0,57	0,5	14.72
Cesar	81,5	55,4	0.00	0,9	0,19	0,1	13.37
Choco	334,7	30,4	0.00	0,4	1,58	0,3	NR
Córdoba	5,5	37,6	0.00	1,3	NN	0,9	9.97
Cundinamarca	NN	58,8	0.00	0,9	0,07	0,4	7.07
Guainía	382,6	37,2	0.00	4,8	NN	NN	16.66
Guajira	102,0	66,1	0.00	3,6	NN	1,1	18.31
Guaviare	69,4	38,0	0.00	10,8	NN	77,4	NR
Huila	52,6	54,3	0.00	5,5	0,86	1,7	45.53
Magdalena	50,4	48,5	0.00	1,9	0,2	0,87	28.67
Meta	42,6	68,7	0.00	4,8	1,53	0,93	32.15
Nariño	18,2	65,8	0.00	2,7	0,68	1,4	50.27
Norte de Santander	7,9	55,0	0.00	3,7	6,00	0,7	17.16
Putamayo	50,6	52,6	0.00	2,0	NN	0,8	50.49
Quindío	NN	77,7	0.00	2,5	NN	0,8	4.21
Risaralda	78,9	62,6	0.00	3,2	0,31	3,9	13.34
San Andrés	NN	53,8	0.00	NN	NN	1,3	2.08
Santander	NN	41,9	0.00	1,6	0,24	1,01	9,48
Sucre	47,4	48,9	0.00	2,9	0,35	1,4	15.25
Tolima	7,9	57,4	0.00	2,8	0,07	1,9	42.52
Valle	5,5	62,1	0.00	2,4	0,24	2,0	14.86
Vaupés	NN	22,7	0.00	NN	NN	NN	18.52
Vichada	995,7	36,4	0.00	2,8	NN	0.00	23.52
Nacional	**29,6**	**63,33**	**0.00**	**2,6**	**0,54**	**1,62**	**23.40**

Sin riesgo	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto	Inviable	No reporta
0-5	5,1 - 14	14,1-35	35,1-80	80,1-100	NR

Nota: EDA: enfermedades diarreicas agudas; IRCA: índice de riesgo relacionado con la calidad del agua para consumo humano; NN: no notificó; NR: no reportó información. *Indicadores de morbimortalidad: Tasa de mortalidad es igual a número de muertes/población por 1´000.000habitantes; incidencia es igual a casos nuevos sobre/población en riesgo por 100.000 habitantes. La tasa de incidencia de EDA es calculada 1.000.

Figura 18. Pobreza en América Latina y Colombia



Fuente: Oxfam, cálculos Dinero. http://www.elcampesino.co/la-pobreza-en-america-latina-y-colombia /

lombia tiene un gran reto. El reciente fenómeno de El Niño ha traído grandes consecuencias y éstas han tenido repercusiones sociales y económicas visibles. El aumento de los precios y el desabastecimiento de agua son algunas de ellas (https://www.dinero.com/economia/articulo/pobreza-desigualdad-america-latina/215261).

Por ejemplo, recientemente, la situación presentada en la Guajira es crítica. Las personas están teniendo serias dificultades para conseguir agua, según Oneida Pinto, gobernadora de la Guajira. "Éste es solo un caso, porque esto no sólo se presenta en dicha región, sino que además muchos municipios alrededor del país están presentando problemas de desabastecimiento de agua. Sin agua potable no se puede vivir, lo que hace indispensable una intervención inmediata que permita el acceso al recurso hídrico".

El PNUD (2005-2015) asegura que "si queremos mitigar la escasez de agua, es fundamental proteger y recuperar los ecosistemas relacionados con este recurso, como bosques, montañas, humedales y ríos. También se requiere más cooperación internacional para estimular la eficiencia hídrica y apoyar tecnologías de tratamiento en los países en desarrollo".

Según estudios del IDEAM (2015), muchos de los sistemas hídricos que actualmente abastecen a la población colombiana evidencian una vulnerabilidad alta para mantener su disponibilidad de agua. Según los estimativos generales para condiciones hidrológicas medias, cerca de 50% de la población de las áreas urbanas municipales está expuesta a sufrir problemas de abastecimiento de agua a causa de las condiciones de disponibilidad, regulación y presión que existen sobre los sistemas hídricos que las atienden. Esta situación se hace aún más crítica cuando las condiciones son las de un año seco, período durante el cual esta cifra puede llegar hasta 80%. De acuerdo con estas cifras, la situación es alarmante por la falta o carencia del recurso; sin embargo, esto no es lo único que nos preocupa, ya que a la escasez o a los períodos de escasez se suma la contaminación de las fuentes de agua, que es la causante de que mueran cada día alrededor de "6.000 niños debido a enfermedades de tipo diarreico" (Molinares-Hassan y Echeverría-Molina, 2011).

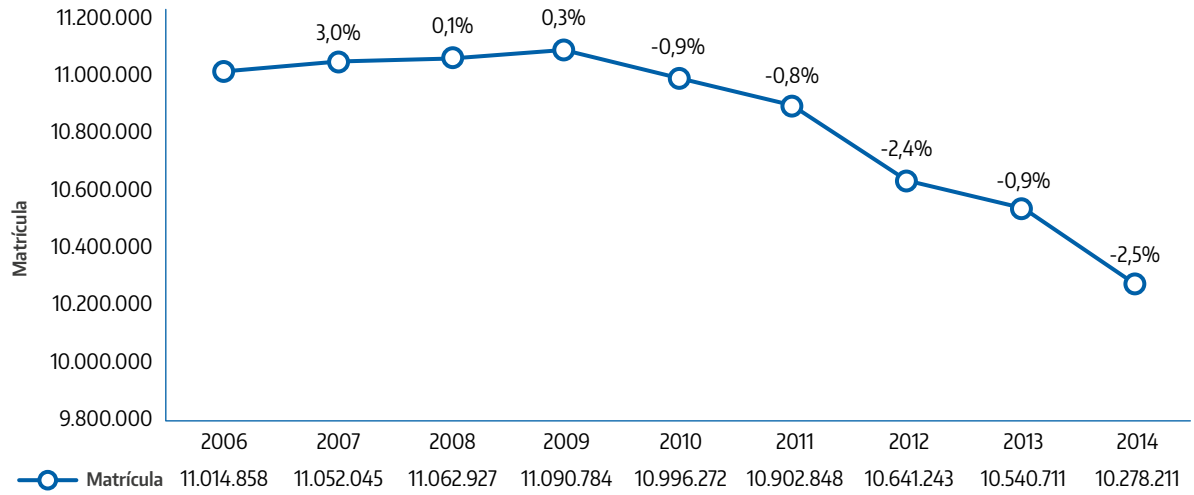
Esta situación se debe básicamente a que la población no tiene ingresos suficientes que le permitan la conexión al servicio de acueducto, ya que el Estado colombiano, por ejemplo, a pesar de tener una clara política de subsidios, y que ayuda al pago de las tarifas de los usuarios categorizados en los estratos 1, 2 y 3, lo que aporta no es suficiente para subsidiarle la demanda a la mayoría de la población más vulnerable en el país a cuyos predios no llega el servicio de agua. La estratificación es socioeconómica y va del 1 al 6, siendo 1 la población más pobre y 6 la de mayor nivel (Molinares-Hassan y Echeverría-Molina, 2011).

4.3 Educación

Según el PNUD, garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida es uno de los temas primordiales. Entre los años 2010 y 2014, el número de matriculados se redujo en 6,5%. Casi 720.000 personas salieron del sistema educativo formal que tiene en cuenta alumnos del nivel preescolar, básica primaria, básica secundaria y media. Es un tema de total atención, porque "el objetivo de lograr una educación inclusiva y de calidad para todos se basa en la firme convicción de que la educación es uno de los motores más poderosos y probados para garantizar el desarrollo sostenible", según afirma el PNUD (**Figura 19**).

En Colombia existe una Política Nacional de Educación Ambiental liderada por el Ministerio

Figura 19. Evolución de los matriculados en Colombia



Fuente: DANE (2014).

de Educación. El Programa de Educación Ambiental ha logrado que muchos de los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE), considerados como significativos, hayan venido haciendo una comprensión de las diferentes problemáticas relacionadas con el recurso hídrico, en diferentes regiones del país. A través de su estrategia formativa, el Programa busca que los PRAE contribuyan en la búsqueda de soluciones a las problemáticas ambientales de contexto (local-global), y para el caso de la situación del recurso hídrico en Colombia –desde la comprensión de las interacciones que se establecen entre los componentes del sistema natural y socio-cultural–, dando cuenta de su evolución y posibilidades de transformación, en términos de calidad de vida y sostenibilidad ambiental. Esto permitirá a futuro que tengamos seres más comprometidos con el recurso hídrico.

4.4 Género

"Los avances a nivel mundial en el acceso al agua potable y el progreso en el acceso a los servicios básicos de saneamiento, ha sido especialmente lento y es probable que no se alcance la meta, lo que tendrá graves consecuencias para las mujeres y las niñas, en particular las que viven en situaciones vulnerables" (Molina, 2016). La falta de acceso a agua potable afecta en particular a las mujeres y a los infantes, puesto que son éstos quienes se encargan de proveer el agua en zonas rurales y urbanas, consiguiéndola a grandes distancias y en condiciones precarias.

La muerte de niños por la contaminación de fuentes de agua es un acontecimiento que repercute directamente en el ejercicio de las labores de la mujer en el espacio privado de la casa, pues da cuenta de la vulnerabilidad a la que está sometida junto con los menores, y que se correlaciona con la necesidad del recurso. El discurso sobre el progreso de los derechos de carácter asistencial del Estado podría reorientarse desde una proyección de género, a partir de la visualización y valoración del trabajo de la mujer como un sujeto que desde lo privado podría coadyuvar en la ejecución de políticas públicas, con un trabajo en doble vía de construcción de un marco social dentro del Estado y el reconocimiento de la identidad de aquélla. Lo anterior muestra un panorama basado en la cantidad de agua dulce disponible por la naturaleza sin que se afecte esta cifra con otras variables como contaminación, población, disponibilidad de infraestructuras (Molinares-Hassan y Echeverría-Molina, 2011).

En Colombia, la política de Estado a favor de las mujeres ha mostrado algunos aspectos positivos. Se destaca, por ejemplo, la creación de la Consejería para la Equidad de la Mujer y leyes como la 1009 de 2006, que entran a equilibrar la situación de discriminación a favor de las mujeres en el país. Sin

embargo, es importante reflexionar acerca de qué tan eficaces han sido (Molinares-Hassan y Echeverría-Molina, 2011).

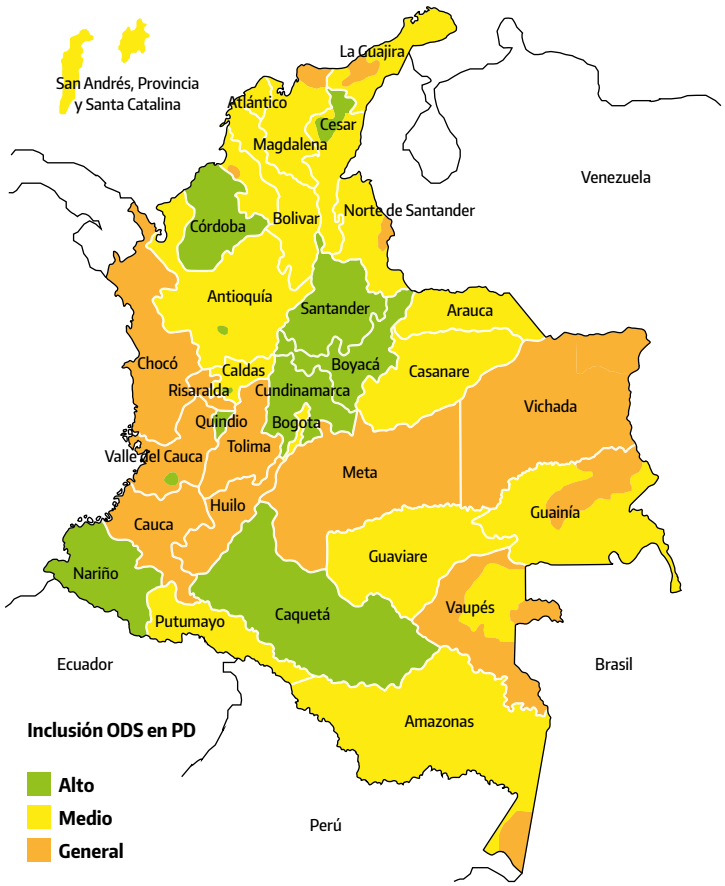
Si el acceso al agua de las comunidades marginales sigue siendo limitado, aunque haya una política de inclusión a favor de las mujeres y ellas participen en la toma de decisiones respecto de la forma de administrar y operar los acueductos y fuentes de agua dulce, esto afectará sus derechos humanos, ya que el rol que ellas asumen dentro de la administración doméstica de este recurso hará que su carga laboral y de salubridad sea mayor que la impuesta a los hombres. Es decir, de la lectura de las distintas directivas de organismos internacionales, de las normas internas frente al manejo de los servicios, no se observa que haya una discriminación sobre las mujeres, pero al persistir las bajas coberturas y la mala calidad del servicio, esto sólo afecta a las mujeres y niñas por las relaciones de género existentes frente a la administración del recurso (Molinares-Hassan y Echeverría-Molina, 2011).

Hay casos como en la Guajira, donde las mujeres de las comunidades Wayuu deben caminar largas distancias de territorio –mínimo 3 veces al día– con la finalidad de encontrar agua para la supervivencia de sus familias, ya que el cambio climático ha generado impactos notorios en el territorio. Los últimos años han sido muy secos y han pasado hasta más de12 meses sin lluvias y con altas temperaturas, por lo que las reservas de los wayuu o jagüeyes se han venido secando y, por eso, deben buscar más lejos el agua.

Lo más paradójico es que en este territorio se construyó una represa que costó 270 millones de dólares y fue construida en 2010 con el objetivo de llevar agua a cerca de 400.000 personas. Almacena 93 millones de metros cúbicos de agua con una tasa de descarga de 7.760 litros por segundo. Pero los acueductos permanecen secos y las comunidades continúan sin el líquido vital.

Así como hay casos complejos como el de la Guajira, hay casos exitosos donde las mujeres han generado grandes logros en el acceso a los servicios públicos. Uno de ellos es la experiencia de "Mujeres gestoras de lo público, una experiencia participativa en género y agua en El Hormiguero, Valle del Cauca, Colombia" (García y Bastidas, 2003), en la cual la decisión y empuje de las mujeres permitió llevar a cabo el proyecto de abastecimiento de agua y hacerse parte de cargos importantes en las asociaciones de usuarios del agua, y que los hombres se vincularan a cargos no directivos, dándole fuerza al trabajo comunitario y mancomunado entre hombres y mujeres para suministrar los servicios básicos a su población.

Figura 20. Inclusión de los ODS en los Planes de Desarrollo Territorial



Fuente: DNP, 2016

5. Enfrentando los objetivos de desarrollo sostenible

De acuerdo con el informe de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) del PNUD en 2015, Colombia está entre los países de América Latina que más avances hicieron en la materia. Sin embargo, quedaron retos importantes por delante. Los avances no se hicieron de manera homogénea a lo largo y

ancho del territorio nacional. Aún persisten enormes diferencias en los niveles de bienestar entre grupos poblacionales y regiones. Mientras que 1 de cada 4 colombianos en las zonas urbanas es afectado por la pobreza, en la zona rural es 1 de cada 2. La pobreza se concentra en las regiones del Pacífico y del Caribe, donde departamentos como el Chocó, el Cauca y La Guajira –departamentos con grandes poblaciones afro-descendientes e indígenas– tienen tasas de pobreza superiores a 50%, cinco veces la tasa que encontramos en Bogotá; 25% de la población colombiana vive en la zona rural y 47% de ellos no tiene acceso a agua potable, 94% no tiene acceso a alcantarillado y saneamiento, y 12% es analfabeta. Como si fuera poco, la tasa de pobreza entre la población desplazada es tres veces más alta que la tasa nacional y, la tasa de pobreza extrema, cuatro (PNUD, 2015).

Los avances de Colombia hicieron que liderara las propuestas la definición de la agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y el Acuerdo de Paz incorpora 68 metas ODS a través de compromisos y acciones que buscan generar las condiciones sociales y económicas para la consolidación de la paz y garantías de no repetición (DNP, 2017).

El Objetivo 6, Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, está en el Acuerdo de Paz dentro del marco de la Reforma Rural Integral (DNP, 2017).

De 63 planes territoriales analizados (32 departamentales y 31 de ciudades capitales), 100% de los Planes de Desarrollo Territorial (PDT) incluyó los ODS y, en promedio, los PDT incluyeron 30% de las metas ODS aplicables a nivel territorial (110).

6. Experiencias exitosas en el mejoramiento de la calidad del agua

6.1 Plan de Gestión Integral del Agua en el municipio de El Retiro (Antioquia)

Los planes para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) se encuentran enmarcados dentro de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, cuyo objetivo es "garantizar la sostenibilidad del recurso, mediante una gestión y uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente". Es decir, la Política Nacional reconoce el papel del agua como elemento integrador del territorio (CTA, 2017).

Figura 21. Mapa del municipio de El Retiro

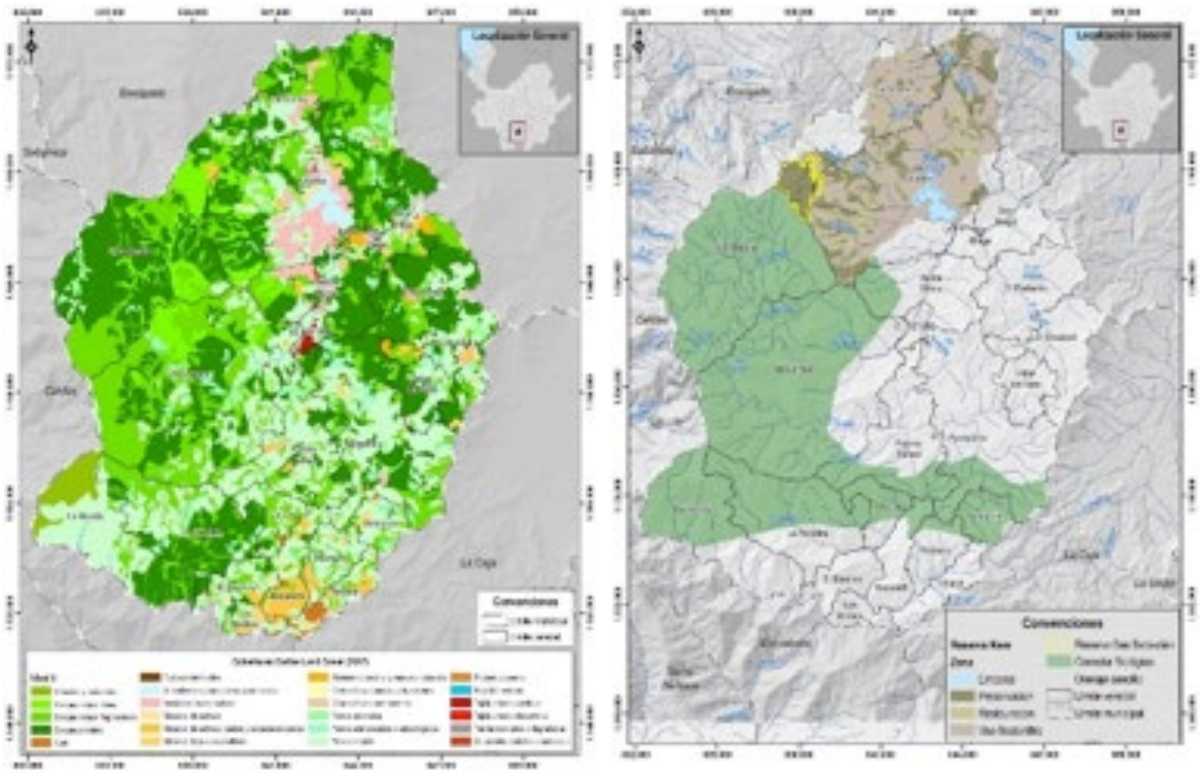
Este proyecto se realizó bajo el convenio de cooperación entre la Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare (Cornare), el municipio de El Retiro y la Corporación Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, entre septiembre de 2016 y mayo de 2017.

El municipio de El Retiro (**Figura 21**) hace parte de la región Oriente del departamento de Antioquia y se encuentra en la Subregión Valles de San Nicolás de Cornare. Cuenta con 21 veredas distribuidas en 24.283,53 ha que limitan con los municipios de Rionegro, La Ceja, Montebello, Caldas y Envigado. Geográficamente, en el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS, el municipio se encuentra delimitado entre las coordenadas: 1.150.964,76–1.173.168,94m Norte y 832.140,59–849.111,07m Este (**Figura 21**).

Figura 22.Coberturas y áreas de manejo especial del municipio de El Retiro

a) Coberturas vegetales

b) Áreas de manejo especial



Se tuvo como objetivo general formular el Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico del Municipio de El Retiro con el fin de conocer las realidades del agua a nivel municipal y definir estrategias necesarias para una su gestión y uso eficiente en armonía con las dinámicas ambientales, económicas y sociales del municipio.

Para lograr el objetivo se llevaron a cabo trabajos de campo con el fin de recolectar información sobre el estado actual ambiental y socioeconómico, tanto de la parte urbana como rural. Con base en la cartografía existente, se elaboraron mapas de las coberturas vegetales y áreas de manejo especial, la oferta hídrica y caudales ambientales, índice de regulación hídrica, índice de vulnerabilidad e índice del uso del agua (**Figura 22**).

Se realizaron también estudios de la calidad del agua, se determinaron las fuentes de contaminación y se analizaron muestras de agua para conocer el estado fisicoquímico y biológico de las mismas. La **Tabla 9** muestra los índices de calidad del agua reportados.

Se determinó igualmente la riqueza de los servicios ecosistémicos que ofrece la región, se llevaron a cabo varias mesas de trabajo con la comunidad y una caracterización de los diversos sectores y actores que hacen uso del recurso hídrico y que impactan y se pueden ver afectados por las decisiones en torno a la gestión del agua. Así también se hizo un análisis de la gobernanza en el municipio.

Finalmente, se hizo un estudio de prospectiva en el municipio de El Retiro con el fin de diseñar escenarios futuros del uso sostenible del recurso hídrico y, así, poder definir el plan para la gestión integral del recurso hídrico en el municipio.

Una de las características fundamentales del proyecto fue el proceso participativo, por lo que se realizaron varias reuniones con el señor alcalde y demás funcionarios administrativos para discutir los resultados del estudio y formular un plan de acción que oriente al municipio, a corto y mediano plazos, la ejecución de las obras que le permitan recuperar sus aguas y bosques para, así, convertirse en un modelo de sostenibilidad ambiental. Igual-

Tabla 9. Índices de calidad del agua reportados

Punto de muestreo	ICA	ICOMO	ICOSUS	ICOTRO	Año
Escuela Amapola (cuenca Pantanillo)	Buena	Regular	Excelente	Eutrófico	1997
Rochela Amapola (cuenca Pantanillo)	Buena	Buena	Excelente	Eutrófico	1997
Truchera Pantanillo	Regular	Regular	Buena	Eutrófico	1997
Bocatoma Pantanillo	Buena	Excelente	Excelente	Eutrófico	1997
Puente colorado La Fe	Buena	Regular	Excelente	Eutrófico	1997
Puente La María La Fe	Buena	Regular	Excelente	Eutrófico	1997
Pantanillo, estación Guarango	Buena	Buena	Excelente	Eutrófico	2003
Pantanillo, Guarango1km después PuroCuero	Buena	Buena	Excelente	Mesotrófico	2004
Río Pantanillo, cerca al embalse La Fe	Buena	Regular	Excelente	Eutrófico	2004
Bocatoma acueducto AguaPlan	Buena	---	---	---	2009
Estación Hierbal (después de la PTAR municipal y Villa Elena y antes del Embalse La Fe)	Buena	---	---	---	Marzo 2011

mente, se llevaron a cabo varias reuniones con la comunidad con el fin de dar a conocer los resultados del estudio y los programas que el municipio deberá desarrollar en el futuro para bien de la comunidad (**Figura 23**).

Resultados del plan de manejo y recomendaciones

Acorde con el planteamiento de la visión y manejo integrado del agua desarrollado en el presente estudio, se presentaron algunas recomendaciones que buscan complementar los elementos desarrollados en los programas y proyectos. Las recomendaciones están enfocadas en las siguientes áreas: a) el manejo y conservación de la cuenca, b) compromiso responsable de la comunidad, y c) tratamiento y recuperación de las aguas residuales.

Los anteriores resultados fueron entregados a las autoridades municipales de El Retiro en una sesión especial en la cual se discutió de manera amplia cuáles serían las acciones a tomar, con el fin de que el municipio pueda implementar de manera exitosa un manejo integral del recurso hídrico contemplando el manejo de la cuenca, la educación de la población en el uso y ahorro del agua y la recuperación de las aguas residuales del municipio.

El plan de manejo no sólo se convirtió en el proyecto principal del municipio, del cual deriva la mayoría de la toma de decisiones para la sostenibilidad del mismo, sino que también se ha convertido en un referente para otros municipios de la región.

Figura 23. Socialización del proyecto con la comunidad de El Retiro (2017)

6.2 Protocolo de monitoreo de la calidad del agua en Colombia

El Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) es el instrumento que fue identificado por la PNGIRH para dar respuesta a la necesidad de contar con un monitoreo sistemático, coherente y apropiado que diera soporte a la implementación y seguimiento de la política, en conjunto con los demás programas del Plan Hídrico Nacional 2010-2022 (IDEAM y UN, 2016).

En el PNMRH, la calidad del agua es uno de los ejes fundamentales en el monitoreo del recurso hídrico, junto con las aguas superficiales, las aguas subterráneas, los cuerpos lénticos y humedales, la bioindicación y los sedimentos. El monitoreo de la calidad del agua es de gran importancia debido a que proporciona información sobre las condiciones de calidad de corrientes, ríos, aguas subterráneas y sistemas acuáticos, la cual permite evidenciar cómo estas condiciones varían en el tiempo a escala nacional, regional y local, y de qué manera los factores naturales y las actividades humanas afectan estas condiciones (WMO, 2013).

El PNMRH se constituye, entonces, en el marco que integra y articula las estrategias y acciones para mejorar la generación de conocimiento e información para la gestión integral del recurso hídrico en el ámbito nacional y regional en el país, y es el referente que orienta y define la ruta a seguir para conocer y hacer seguimiento al comportamiento del ciclo del agua en Colombia, en términos de calidad y cantidad, en concordancia con la Política Nacional para la Gestión Integral del recurso Hídrico (PNGIRH) (IDEAM y UN, 2016).

Con la finalidad de cumplir con esto, es necesario realizar un fortalecimiento del monitoreo de la calidad del agua en Colombia en el marco del PNMRH y, al efecto, el IDEAM realizó un protocolo para el monitoreo de la calidad del agua, mediante una hoja de ruta que fue socializada en el mes de noviembre de 2017 y comienza a regir en 2018. El resumen del contenido de dicha hoja de ruta se presenta en la **Figura 24**.

La hoja de ruta parte de las cinco líneas estratégicas definidas en el PNMRH (IDEAM y UN, 2016), para cada una de las cuales se definen unos objetivos que se pueden alcanzar mediante la realización de algunas actividades a desarrollar en forma articulada en diferentes horizontes de tiempo. Cada objetivo tiene una meta asociada y cada actividad genera unos productos que apuntan al cumplimiento de la meta en el horizonte de planificación estipulado.

Los horizontes de planificación se han establecido a corto plazo (2020), mediano plazo (2022) y largo plazo (2030). Los dos primeros horizontes están alineados con la PNGIRH y el PNMRH y, el último, con los ODS.

7. Conclusiones y recomendaciones

Los ríos y mares colombianos reciben y transportan cargas contaminantes de agua utilizadas en los diferentes procesos socioeconómicos y vertidas mayoritariamente sin tratamiento previo; además, son los receptores de altos volúmenes de sedimentos originados por procesos de erosión, bien sea de origen natural o por acción del hombre (Sistema Ambiental Colombiano -SIAC-).

Estas acciones se incrementan diariamente debido al crecimiento de la población y de las actividades económicas, siendo necesario un monitoreo y control constante que permita tomar las acciones necesarias para abordar esta problemática con el fin de disminuir su impacto en los procesos naturales y sociales, especialmente en la salud humana (SIAC).

El análisis de la calidad del agua está soportado en las mediciones que se realizan desde la Red del IDEAM y en la información de sectores económicos que recolectan datos de calidad del agua de manera sistemática, representados y espacializados en indicadores de calidad del agua y de amenaza potencial por contaminación. (SIAC).

La carga orgánica biodegradable (DBO_5) vertida a los sistemas hídricos después de tratamiento en Colombia durante el año 2012 alcanzó 756.945t t/año, que equivalen a 2.102 t/día. De este total, la industria aporta 28%, el sector doméstico 69% y el sector cafetero 3%. El 80% de la carga de DBO_5 fue aportada por 55 municipios principalmente por las áreas metropolitanas y ciudades grandes del país: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, Cúcuta, Villavicencio y Manizales (SIAC).

La carga total nacional vertida a los cuerpos de agua de demanda química de oxígeno (DQO), después de tratamiento, es de 1.675.616 t/año, equivalentes a 4.654 t/día, de los cuales la industria aporta 37%, el sector doméstico 61% y el cafetero 2%. En cuanto a Sólidos Suspendidos Totales se vierten 1.135.726 t/año, equivalente a 3.154 t/día. La industrial aporta 7%, el sector doméstico 91% y el subsector cafetero 1%. En 179 municipios ubicados en 15 departamentos se estimó una carga vertida en 2012 de 205 toneladas de mercurio al suelo y agua, de las cuales 27.5% corresponden al uso para beneficio de la plata y 72.5% al beneficio de oro (SIAC).

Las subzonas con mayor afectación por vertimientos de mercurio asociados al beneficio de oro

Figura 24. Resumen hoja de ruta para el monitoreo de la calidad del agua superficial en Colombia

Fuente: CTA, 2017.

son las correspondientes a: directos al Magdalena (Brazo Morales), Bajo Nechí, Sucio, directos al Bajo Nechí, ríos Taraza, Man, Quito, Cajón, Tamaná y otros directos al San Juan (SIAC).

Las alteraciones del caudal tendrán diferentes efectos dependiendo del hábitat, la región y la característica del flujo que es modificada, lo que hace difícil hacer predicciones generales sobre la respuesta de las comunidades o su persistencia o resiliencia. Dado que los ríos andinos enfrentan una presión significativa para regular el flujo, la mejor manera de garantizar un adecuado aprovechamiento y gestión sería que la concesiones y licencias partieran de estudios ecohidráulicos, biológicos y de

alteración de hábitats previos, que consideren la interacción o sinergia entre los cambios hidroclimáticos y los procesos de regulación artificial, asegurando la permanencia de verdaderos "caudales ecológicos" en nuestros ríos.

Los aportes contaminantes de origen distribuido o difuso asociados a las actividades de expansión agrícola, minería y demás relacionadas con la deforestación pueden ser reducidos ostensiblemente por medio de zonas forestales en las riberas de las corrientes. Se deben implementar programas de restablecimiento forestal con especies nativas por parte de las autoridades competentes, pues ésta es la mejor forma de contribuir a la restauración de bosques y, por ende, a la protección del recurso hídrico que se asocia a éstos.

Dar especial atención a la variabilidad hidroclimática regional y a las características geomorfológicas diferentes en cada cuenca es esencial a la hora de tomar decisiones en contexto, para que no sólo garanticen la calidad fisicoquímica del agua, sino su disponibilidad para las comunidades acuáticas y sus servicios ecosistémicos a la sociedad.

8. Referencias bibliográficas

Albert, L.A. (1998). *Los plaguicidas persistentes y sus efectos a largo plazo.* II Simposio Internacional Sobre Agricultura Sostenible. México.

Alcaldía Mayor de Bogotá. Decreto 2811 de 1974 de Nivel Nacional por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Armenteras D., Rudas G., Rodriguez N., Sua S., & Romero M. (2006). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators.* Volume 6. pp. 353–368.

Banco Mundial (2008). *Informe sobre el desarrollo mundial 2008. Agricultura para el desarrollo.* Colombia: Banco Mundial, coeditado con Mundi-Prensa y Mayol Ediciones, S.A.

Biggs, J.F., Nikora, V.I. & Snelder, T.H. (2005). Linking scales of flow variability to lotic ecosystem structure and function. *River research and applications* 21, 283–298.

Blanco, J. F. (2003). Interannual variation of macroinvertebrate assemblages in a dry-forested stream in western Cordellera: a role for El Niño and La Niña. *Boletin ecotrópica: Ecosistemas tropicales* No. 37, 3-30

Bustamante-Gil C., Ramírez-Restrepo J. J., Boltovskoy A., Vallejo A. (2012).. Spatial and temporal change characterization of *Ceratium furcoides* (Dinophyta) in the equatorial reservoir Riogrande II, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia* 24 (2): 207-219.

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA) (2017). *Diseño de una red de monitoreo de la calidad del agua superficial para el Área Hidrográfica Magdalena–Cauca y hoja de ruta para el fortalecimiento del monitoreo de la calidad del agua superficial en Colombia.* Medellín: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), Municipio de El Retiro y Cornare (2017). *Informe final. Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico del Municipio de El Retiro.* Informe técnico. Medellín: Línea de Agua y Medio Ambiente. 250 pp.

Colombia Anfibia (2016). *Un país de humedales.* Volumen 1 y 2. Bogotá D.C.: Instituto Humboldt.

Comisión Europea (2007). *La Directiva Marco del Agua de la UE.* Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/wfd/es.pdf

Cuenca, N., Chavarro, F. y Díaz, O. (2008). El sector de ganadería bovina en Colombia. Aplicación de modelos de series de tiempo al inventario ganadero. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión.* 16 (1):16-21

Departamento Nacional de Planeación (DNP) (1995). CONPES-2764. Informe Técnico. Bogotá D.C.

Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2017). *Avances y desafíos para el seguimiento de los ODS en Colombia.* Presentación de Felipe Castro Pachón en el Primer Congreso Andino de Datos de los ODS. Marzo de 2017. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/images/eventos/ods/presentaciones/Alianzas/avances-desafios-seguimiento-ODS-colombia.pdf

Domínguez, E. y Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología.* Tucumán: Fundación Miguel Lillo. 654 pp.

ENA (2014). *Estudio nacional del agua: información para la toma de decisiones.* Bogotá D.C.

Galiano-Sedano F. (1976). *Investigación sobre el contenido de mercurio en aguas de ríos colombianos.*

Informe Técnico. Proy. IIT/Colgate Palmolive/ COLCIENCIAS. Bogotá D.C.

Galiano-Sedano F. (1977). Mercurio total en aguas de los ríos colombianos. *Rev IIT Tecnol* 105: pp. 9-18.

Galiano-Sedano F. (1979). Estudios sobre la contaminación de residuos industriales en aguas de ríos colombianos. *Rev IIT Tecnol* 117 pp. 40-47.

Galindo G., Espejo O. J., Ramírez J.P., Forero C., Valbuena C.A., Rubiano J. C., Lozano R.H., Vargas K.M., Palacios A., Palacios S., Franco C.A., Granados E.I., Vergara L. K. y Cabrera E. (2014). *Memoria técnica de la Cuantificación de la superficie de bosque natural y deforestación a nivel nacional. Actualización Periodo 2012-2013.* Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 56 pp.

García V, Mariela y Bastidas F, Sandra (2003). *Mujeres gestoras de lo público. Una experiencia participativa en género y agua en El Hormiguero, Colombia.* Universidad del Valle - Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico – Centro Interregional de Abastecimiento y Remoción de Agua (CINARA), Marzo 17 de 2003.

Gil, M.J, A. M. Soto, J. I. Usma, O. D. Gutiérrez (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. Revista: *Producción + Limpia* - Julio - Diciembre Vol.7, No.2 – 52-73

Guevara G., Lozano L., Reinoso G., Villa F. 2009. Horizontal and seasonal patterns of tropical zooplankton from the eutrophic Prado Reservoir (Colombia). *Limnologica* 39: 128-139.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT) (1978). Resolución 00337 del 4 de abril de 1978.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2002). *Perfil del Estado de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente en Colombia.* Tomo I. Bogotá D.C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010.* Bogotá D.C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2011). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00).* Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. Bogotá D.C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), MADS, U.D.C.A (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia-2015.* Bogotá D.C.: IDEAM. 188 pp.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014.* Bogotá D.C. 496 pp.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2015). *Tomo II: Deforestación y afectación de los ecosistemas por ocupación del territorio y actividades económicas.* Bogotá D.C. 385 pp.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), INVEMAR, SINCHI, IIAP, IAvH (2016). *Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales 2015.* Documento Síntesis. Bogotá D.C. 75 pp.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi-Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) (2002). *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia, capítulo II cobertura y uso actual de las tierras de Colombia.*

López-Muñoz M., Ramírez-Restrepo J. J., Palacio-Baena J. A., Echenique R., De Mattos-Bicudo C. y Parra-García E. (2016). Biomasa del fitoplancton eucariota y su disponibilidad para la red trófica del embalse Riogrande II (Antioquia, Colombia). *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155): 244-253.

Lowe-Mcconnell, R.H. (1979). Ecological aspects of seasonality in fishes of tropical waters. *Symposia of the Zoological Society of London* 44, 219–241.

Lowe-Mcconnell, R.H. (1999). *Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais.* São Paulo: USP. 535 pp.

Malato, S., Blanco, J., Estrada, C.A. y Bandala, E.R. (2001). Degradación de plaguicidas, en Miguel A. Blesa, *Eliminación de contaminantes por catálisis heterogénea,* Red CYTED VIII-G, pp. 269-284.

Mancera-Rodríguez, N. y Álvarez-León, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana,* Vol. 11 No. 1, pp. 3-23.

Ministerio de Salud y Protección Social (MINSALUD), Subdirección de Salud Ambiental (2016). *Informe nacional de calidad del agua para consumo humano INCA 2015*. Bogotá D.C., Diciembre de 2016.

Ministerio del Medio Ambiente (2000). Informe Nacional sobre el Uso y Manejo de Plaguicidas en Colombia, Tendente a Identificar y Proponer Alternativas para Reducir el Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe. Proyecto PNUMA/UCR/CAR/Global Environment Facility.

Ministerio del Medio Ambiente (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: la erradicación de la pobreza.* Disponible en: www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico

Molina Sánchez, Nelson Enrique (2016). La pobreza en América Latina y Colombia. *Periódico El Campesino.* 3 de enero de 2016. Disponible en: www.elcampesino.co/la-pobreza-en-america-latina-y-colombia/

Molinares-Hassan, Viridiana y Echeverría-Molina, Judith (2011). El derecho humano al agua: posibilidades desde una perspectiva de género. 19 International Law. *Revista Colombiana de Derecho Internacional,* 269-302 (2011).

Molles, M.C. & Dahm Jr. C.N. (1990). A Perspective on El Niño and La Niña: Global Implications for Stream Ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 9 (1), 68-76.

Narváez, J.F. (2015). *Dinámica de plaguicidas y algunos productos de degradación en los embalses La Fe y Riogrande II por medio de muestreadores pasivos.* Tesis doctoral en Ingeniería énfasis ambiental, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería.

Narváez, J.F., López, C. y Molina, F. (2013). Passive Sampling in the study of dynamic and environmental impact of pesticides in water. *Rev. Fac. Ing. Uni. Ant.* 68: 147-159.

Narváez, J.F., Palacio, J., Molina, F. (2012). Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión y Ambiente.* 15 (3): 27-38.

Northcote T. (1991). Eutrofización y problemas de polución. En: Dejoux, C., Iltis A (eds.), El Lago Titicaca: Síntesis del Conocimiento Limnológico. *Actual. Hisbol-ORSTOM,* La Paz: 563-572.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)/ Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC) (2014). *Environmental Performance Reviews: Colombia 2014.* Disponible en: www.oecd.org/env/country-reviews/oecd-environmental-performance-reviews-colombia-2014-9789264208292-en.htm

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2012). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura.* Consultado en Julio de 2015. Disponible en http://www.fao.org/docrep/015/al989e/al989e00.pdf

Paredes Zúñiga, Vanessa; Vargas Azofeifa, Ingrid; Vargas Quintero, María Consuelo; y Arellano Hartig, Federico (2010). Hidrogeoquímica en el acuífero costero del eje bananero de Urabá. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín,* vol. 9, No. 17, pp. 51-62. Medellín. ISSN 1692-3324 - julio-diciembre de 2010. 228 pp.Pingali, P. (2006). *Agricultural Growth and Economic Development: a view through the globalization lens.* Presidential Address to the 26th International Conference of Agricultural Economists, Gold Coast, Australia, August 2006.

Pouilly, M., Barrera, S. & Rosales, C. (2006). Changes of taxonomic and trophic structure of fish assemblages along an environmental gradient in the Upper Beni watershed (Bolivia). *Journal of Fish Biology* 68, 137-156.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2015). *Objetivos de Desarrollo del Milenio.* Informe 2015.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2016). *Informe sobre Desarrollo Humano. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua.*

Pulido A. (1985). *Estudio de algunos parámetros ambientales de la explotación aurífera de Mineros de Antioquia en la cuenca del Río Nechí: Impacto ambiental preliminar.* Universidad de Antioquia.

Restrepo, J.D. & Escobar, Heber A. (2016). Sediment load trends in the Magdalena River basin (1980–2010): Anthropogenic and climate-induced causes, Geomorphology. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.013

Restrepo J.D., Kettnerb A.J., Syvitskib J.P.M. (2015). Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene*, Vol. 10, June 2015, pp. 13–28. Disponible en : http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.001

Richter BD, Warner AT, Meyer JL, & Lutz K (2006). A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations. *River Res. Applicat.* 22: 297-318.

Ríos-Pulgarín, M.I. (2015). *Régimen hidrológico y estructura de la comunidad acuática del Río Guarinó, Magdalena medio colombiano, entre 2007 y 2010. Un estudio de caso para sistema de piedemonte andino durante fenómenos ENSO.* Tesis Doctoral en Ecología. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ciencias Forestales.

Ríos-Pulgarín, M.I., Arango-Jaramillo, MC., Barletta, M., y Mancera-Rodríguez (2016). The role of the hydrological cycle on the temporal patterns of macroinvertebrate assemblages in an Andean foothill stream in Colombia. *J. Limnol.,* 75(s1): 107-120. DOI: 10.4081/jlimnol.2016.1394

Ríos-Pulgarín, M.I., Barletta, M y Mancera, N.J. (2015). "The role of the hydrological cycle on the distribution patterns of fish assemblages in an Andean stream". En: Inglaterra *Journal of Fish Biology* ISSN: 1095-8649 ed: v.jfb_12757 p. 1-32.

Ríos-Pulgarín, MI., Gil-Guarín, IC, Barletta, M. y Mancera-Rodríguez Néstor J. (2016). Effects of the hydrological cycle on the phycoperiphyton assemblage in an Andean foothill stream in Colombia. *J. Limnol.,* 75(s1): 121-136. DOI: 10.4081/jlimnol.2016.1429

Ríos-Pulgarín, M.I. Barletta, M. and Mancera-Rodriguez, N.J. (2016). Hydrological cycle effects on the aquatic community in a Neotropical stream of the Andean piedmont during the 2007–2010 ENSO events. *Journal of Fish Biology* (2016) doi:10.1111/jfb.12885, available online at wileyonlinelibrary.com

Rivera-Rondón C. y Díaz-Quirós Y.C. (2004). Grandes taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. Universitas Scientiarun, *Revista de la Facultad de Ciencias Pontificia Universidad Javeriana* 9, 75-96.Rodríguez-Sambrano A.P., Aranguren-Riaño N.J. (2014). Comunidad planctónica de un embalse con alta tensión ambiental: La Playa, cuenca alta del Río Chicamocha (Tuta, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana* 15 (2): 95-110.

Roldán, G. y Ramírez, J.J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical.* Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. Segunda edición. 440 pp.

Rolim, S. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización.* Bogotá D.C.: Mc Graw-Hill. Primera edición.

Romero M., Cabrera E. y Ortiz N. (2008). *Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006-2007.* Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 181 pp.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) (2014). RESOLUCIÓN SSPD – 20141300018055 DE 2014 (mayo 29). *Diario Oficial* No. 49.171 del 3 de junio de 2014.

Thomann R.V. (1982). *Physico-Chemical and Ecological Modeling of the Fate of Toxic Substances in Natural Water Systems.* Prepared for the Conference on Modelling the Fate and Effect of Toxic Substances in the Environment. Copenhaguen (Denmark).

Tomin, C.D.S. (1997). *The Pesticide Manual, a World Compendium.* Croydon, UK: British Crop Protection Council. 11a Edición.

Universidad de Antioquia (1988). *Estudio del impacto ambiental por minería en el bajo Cauca y nordeste antioqueño.* Centro de Investigaciones, Universidad de Antioquia 4: pp. 29-39.

Vásquez C., Ariza A. y Pinilla G. (2006). Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano Cundiboyacense. *Universitas Scientiarum. Revista de la Facultad de Ciencias* 11 (2): 61-75.

Villabona-González S., Buitrago-Amariles R., Ramírez-Restrepo J.J. y Palacio-Baena J.A. (2014). Biomasa de rotíferos en dos embalses con diferentes estados tróficos (Antioquia, Colombia) y su relación con algunas variables limnológicas. *Actualidades Biológicas* 36 (101): 149-162.

Villabona-González S., Ramírez-Restrepo J.J., Palacio-Baena J.A. y Costa Bonecker C. (2015). Respuesta de la biomasa zooplanctónica a los gradientes de estado trófico y precipitación de un embalse tropical. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 39(152): 374-388.

Costa Rica

Costa Rica es un país de contrastes: por un lado, el país es reconocido por sus esfuerzos en el campo ambiental y la conservación, de manera que muchos lo consideran como un país verde y además ha logrado coberturas de agua potable excelentes; pero, por otro lado, el país presenta contaminación severa en la mayoría de sus ríos urbanos y en algunos rurales. Afortunadamente, aunque la tarea es grande, se están haciendo esfuerzos importantes para enfrentar estos problemas.

Reserva de Monteverde, provincia de Puntarenas, Costa Rica © iStock

Calidad de aguas en Costa Rica

Hugo G. Hidalgo, Monika Springer, Yamileth Astorga,
Eddy Gómez, Ingrid Vargas y Édgar Meléndez

1. Introducción general

1.1 Antecedentes, contexto y principales problemas

En Costa Rica, el agua ha sido utilizada para consumo humano, agricultura, turismo, industria, transporte y generación hidroeléctrica. De estos usos, los cuatro primeros tienen el mayor potencial de alterar significativamente la calidad del agua resultante.

Tal y como sucedió en otros sitios del mundo, el abastecimiento de agua para consumo humano mediante la construcción de acueductos constituyó posiblemente el primer paso en la edificación de infraestructuras para el manejo del recurso hídrico en Costa Rica. Incluso, en el monumento nacional Guayabo, en la ciudad de Turrialba, se encuentra un acueducto que fue habitado de 1000 a.C. a 1400 d.C.

En el siglo XVII se usaba el agua para abastecimiento doméstico, cría de ganado y agricultura. Durante el siglo XVIII se desarrolló la actividad ganadera en el Pacífico Norte, mientras que en el Valle Central se utilizó el agua de los ríos y quebradas (arroyos) en la agricultura. Durante el siglo XIX, el agua fue utilizada principalmente en los monocultivos de café y banano y en el proceso minero de lavado del oro. El curso de agua en los ríos sirvió como medio de transporte para colonizar la zona Norte y el alto potencial hídrico contribuyó a la generación de energía hidroeléctrica. Sin embargo, el tipo de tecnología de producción agrícola y la falta de conciencia de la población provocó un deterioro en la calidad de los recursos hídricos, en especial de las aguas superficiales (Vargas Sanabria, 2001).

Quizás el ejemplo más evidente de la contaminación del agua por causas agrícolas fue debido a la actividad cafetalera (primer producto de exportación costarricense por mucho tiempo). Por razones de salud, la contaminación tuvo fuerte oposición de parte de la población, que generó un conflicto ambiental (Montero Mora y Sandí Morales, 2009). Esta contaminación continuó siendo un problema por mucho tiempo y afectaba a muchos ríos, hasta que una serie de acciones se llevaron a cabo para frenar los vertidos de productos del café a los cuerpos de agua, que incluyen la resolución No. 210 del 2 de julio de 1997 en que la Procu-

Hugo G. Hidalgo hidalgo@ucr.ac.cr Coordinador del capítulo. Centro de Investigaciones Geofísicas y Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. **Monika Springer** Escuela de Biología y Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. **Yamileth Astorga** Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados; Escuela de Tecnologías en Salud, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. **Eddy Gómez** Escuela de Química y Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. **Ingrid Vargas** Escuela Centroamericana de Geología y Maestría en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos, Posgrado en Geología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. **Édgar Meléndez** Exviceministro de Obras Públicas y Transportes, Costa Rica.

raduría de la República ordena al Ministro de Salud aplicar acciones legales para defensa de las aguas nacionales por contaminación proveniente de la agroindustria del beneficiado de café.

Debido al poco control en su calidad, "el agua fue en varias ocasiones agente de muerte al ser portadora de bacterias como el cólera, que en 1856 causó casi 10 000 muertes" (Vargas Sanabria, 2001). El primer acueducto moderno se inauguró en 1868 en San José (Vargas Sanabria, 2001). En 1915, cinco años antes de la construcción de la primera planta potabilizadora de la ciudad de San José, el Benemérito de la Patria, Clodomiro Picado Twight, junto con su colaborador Francisco Sancho, hicieron las primeras mediciones microbiológicas y de análisis físico-químicos del agua para consumo humano de esta ciudad (Picado Twight, 1915).

Las primeras obras de alcantarillado se inauguraron en 1911, y posteriormente se construyeron en las principales ciudades del Valle Central, a principios de la década de 1940 (Mora-Alvarado y Portuguez-Barquero, 2016). Luego, se construyó el sistema de tratamiento mediante lagunas de estabilización en Guanacaste (1959). Lamentablemente, las plantas de tratamiento del Valle Central fueron abandonadas a partir de 1963 (Mora-Alvarado, 1992), aumentando así la contaminación orgánica de la cuenca formada por los ríos Virilla y Tárcoles. Sin embargo, gracias a un convenio entre el Gobierno y el Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, conocido como AyA (1972-1975), se construyeron lagunas facultativas en algunas ciudades fuera del Valle Central, y en 2004 se inauguró el Emisario Submarino de Limón (Araya *et al*., 2009). Pero aun con estas obras, Costa Rica ocupa uno de los últimos lugares en el tratamiento con sistemas convencionales en América Latina (Reynolds, 2002; Mora-Alvarado y Portuguez-Barquero, 2016). Paradójicamente, de acuerdo con el Programa Conjunto de Monitoreo del Fondo para la Infancia de las Naciones Unidas (UNICEF) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), con el concepto "Instrumentos de Saneamiento Mejorados", Costa Rica ocupa uno de los primeros lugares en la región. Esto se debe a que el concepto de la UNICEF/OMS abarca la *disposición* de excretas, ya sea con alcantarillado sanitario, alcantarillado sin tratamiento, tanques sépticos y letrinas, y no se enfoca en el *tratamiento* de las aguas (UNICEF y OMS, 2006).

En contraste con el gran porcentaje de cobertura en el abastecimiento de agua potable a nivel nacional (93,5%), el problema más serio y visible de la calidad de las aguas en Costa Rica está en el bajo porcentaje de tratamiento de aguas residuales y la consecuente contaminación de los ríos, especialmente en las zonas urbanas. En los últimos cuatro años se han realizado esfuerzos importantes, incluyendo la entrada en operación de la Planta de Tratamiento Los Tajos y la colocación de redes de alcantarillado, colectores y sub-colectores para 11 de los cantones de San José, pasando de una cobertura de saneamiento de aguas residuales de 4,2% en 2014 a 12,4% en 2018. En 2016 se aprobó la Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales (AyA, MINAE y MS, 2016), acompañada por un Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento 2016-2045 (AyA, 2017b).

En los últimos años se han hecho esfuerzos importantes por cumplir con los Objetivos del Milenio y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), incluyendo el servicio de abastecimiento de agua potable, saneamiento e higiene. Aunque la situación en Costa Rica con respecto a estos aspectos es mejor o similar a los países de la región de América Central (considerando logros del país en aspectos como abastecimiento de agua potable, saneamiento básico adecuado para eliminar la defecación al aire libre y en cuestiones de género), aún faltan por resolver problemas serios relacionados con la calidad de aguas superficiales en los ríos. Además, se necesitan más estudios para determinar con más precisión la extensión de la contaminación de las aguas subterráneas. La diferencia entre la calidad de aguas para consumo, así como las aguas residuales en zonas urbanas y rurales también es un aspecto que requiere más estudio a nivel nacional. Diferencias en: a) los sistemas de administración en acueductos rurales y urbanos, b) las condiciones naturales de las fuentes superficiales y subterráneas de agua, c) fuentes y tipos de contaminación, y d) prevalencia de diferentes sistemas de saneamiento (alcantarillado, tanque séptico o fosas sépticas), indican una posible diferenciación en la calidad de agua en zonas urbanas o rurales. Recientemente se dieron los primeros esfuerzos interinstitucionales para medir la calidad de los cuerpos de agua del país. Finalmente, como se verá en secciones posteriores, existe un gran cuerpo de legislación relacio-

nada con la cantidad y calidad de los recursos hídricos, aunque en la práctica muchas veces estas leyes y reglamentos no se cumplen, debido a diversos factores, entre ellos la poca capacidad de fiscalización de las autoridades encargadas, y la falta de recursos humanos y económicos.

1.2 Objetivos del capítulo

En este capítulo de la calidad de aguas de Costa Rica, se tiene como objetivo principal:

- Proveer un diagnóstico de la situación actual e histórica de la calidad de aguas en el país.

Como objetivos específicos se tienen:

- Proveer una visión de las leyes y reglamentos relacionados con la calidad de aguas.
- Identificar los principales problemas que impactan en la calidad de aguas del país.
- Relacionar la calidad de aguas con sus impactos sociales y económicos.
- Verificar el cumplimiento del país con los ODS.
- Brindar ejemplos de retos y de experiencias exitosas en el país.

El enfoque del capítulo consiste en resumir la información histórica y actual sobre los principales retos y sus maneras de abordaje en el país. Se pretende dar una visión de la situación, a manera de comparación con los resultados en otros países americanos que formarán parte de este libro. La idea es buscar o proveer experiencias que puedan ser replicadas en otros lugares del continente.

2. Autoridad institucional y gobernanza de calidad de agua

2.1 Marco legal

La información detallada sobre las leyes, los decretos ejecutivos y demás normativas del país se puede consultar en el Sistema Costarricense de Información Jurídica de la Procuraduría General de la República, en el sitio http://www.pgrweb.go.cr/scij . Dentro del marco legal costarricense que tiene que ver con la calidad de aguas podemos citar:

Ley de Aguas (Ley No. 276, 1942). Esta ley provee todas las regulaciones relacionadas con el aprovechamiento de las aguas y concesiones. Una nueva ley fue votada por el Congreso en noviembre del 2017, pero el Tribunal Constitucional la calificó como inviable debido al procedimiento que se usó para su aprobación.

El Artículo 114 de la Ley de Aguas menciona que el concesionario de éstas debe construir las obras de conducción como puentes y alcantarillas, y si atraviesan otros acueductos, no deben modificar la cantidad ni la calidad de éstos.

Ley General de Agua Potable (Ley No. 1634, 1953). El Artículo 3 menciona que *"corresponde al Ministerio de Salubridad Pública y al AyA seleccionar y localizar las aguas destinadas al servicio de cañería, tipo de tratamiento de éstas y tipo de sistema de agua potable a construir. Tendrá además la responsabilidad por las recomendaciones que se deban impartir desde el punto de vista sanitario comprendiendo el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable".*

La Ley indica que el AyA y el Ministerio de Salud deben garantizar la cantidad y calidad del agua potable en obras construidas parcial o totalmente con fondos del erario u otra forma de garantía del Gobierno de la República. Se prohíben las instalaciones, edificaciones o labores comprendidas en las zonas cercanas a fuentes de abastecimiento que afecten la composición física o química del agua.

Ley General de Salud (Ley No. 5395, 1973): La Ley General de Salud (LGS), dice en su Artículo 148 que *"toda persona, deberá, asimismo, ser diligente en el cumplimiento de las prácticas de higiene personal destinadas a prevenir la aparición y propagación de enfermedades transmisibles; en prevenir la contaminación de vehículos de infección tales como el agua, los alimentos, la infestación y contaminación de bienes muebles e inmuebles y la formación de focos de infección".* De tal manera, la ley implica que la contaminación de las aguas debe ser evitada por todas las personas.

Esta ley contempla requerimientos de permisos para actividades industriales o científicas para evitar la contaminación del agua por sustancias natural o artificialmente radioactivas. También quedan prohibidas las alteraciones ambientales que produzcan una disminución de la calidad o estética del agua, o que haga de este bien inservible, afectando posibles usos futuros, la salud, la flora o la fauna.

El Título III, Capítulo I de la LGS titulado *"del agua para el uso y consumo humano y de los deberes y restricciones a que quedan sujetas las personas*

en la materia" menciona en su Artículo 264 que *"el agua constituye un bien de utilidad pública y su utilización para el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso".* Este capítulo define qué se considera agua potable, los requerimientos de los sistemas de agua potable y qué instituciones están a cargo de la administración y fiscalización de ellos. Se prohíbe explícitamente contaminar los abastos de agua y agregar cualquier cosa o elemento extraño al agua (salvo aquellos que mejoren la calidad del agua); se regula la calidad del agua para usos diversos como producción de alimentos, operación de balnearios, establecimientos crenoterápicos, piscinas y establecimientos similares.

El Artículo 275 de este capítulo menciona que *"queda prohibido a toda persona natural o jurídica contaminar las aguas superficiales, subterráneas y marítimas territoriales, directa o indirectamente, mediante drenajes o la descarga o almacenamiento, voluntario o negligente, de residuos o desechos líquidos, sólidos o gaseosos, radiactivos o no radiactivos, aguas negras o sustancias de cualquier naturaleza que, alterando las características físicas, químicas y biológicas del agua la hagan peligrosa para la salud de las personas, de la fauna terrestre y acuática o inservible para usos domésticos, agrícolas, industriales o de recreación".* Sólo con permiso del Ministerio de Salud se pueden descargar residuos o desechos sólidos o líquidos contaminantes. Se prohíbe la contaminación de cuencas hidrográficas. Toda persona propietaria de bienes inmuebles debe proveer los drenajes necesarios para que el agua no se convierta en un foco de infección. Los propietarios deben garantizar una adecuada disposición de excretas y aguas negras.

Ley Orgánica del Ambiente (Ley No. 7554, 1995): En el capítulo III, titulado "Agua" se menciona que *"el agua es de dominio público, su conservación y uso sostenible son de interés social".* Para la conservación del recurso hídrico deben seguirse ciertos criterios como protección y conservación de ecosistemas y mantenimiento del equilibrio del sistema agua. Estos criterios deben aplicarse en elaboración y ejecución de cualquier ordenamiento del recurso hídrico, en el otorgamiento de concesiones y permisos para aprovechamiento del recurso y en prácticas y obras de conservación de suelos y aguas.

En el capítulo XV titulado "Contaminación" se menciona que el Estado, las municipalidades y demás instituciones públicas darán prioridad al establecimiento de servicios tales como la disposición de excretas, aguas servidas y aguas pluviales. *"Para evitar la contaminación del agua, la autoridad competente regulará y controlará que el manejo y el aprovechamiento no alteren la calidad y la cantidad de este recurso, según los límites fijados en las normas correspondientes"*. Además, *"las aguas residuales de cualquier origen deberán recibir tratamiento antes de ser descargadas en ríos, lagos, mares y demás cuerpos de agua; además, deberán alcanzar la calidad establecida para el cuerpo receptor, según su uso actual y potencial y para su utilización futura en otras actividades".* En cualquier manejo o aprovechamiento de agua, la responsabilidad del tratamiento de los vertidos corresponde a quien produzca la contaminación. Las personas físicas, jurídicas, públicas o privadas están obligadas a velar por que no se contaminen las cuencas hidrográficas.

Ley Forestal (Ley No. 7575, 1996): Menciona como uno de los usos de los bosques la protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico. Establece un fondo forestal para *"ejecutar acciones y proyectos tendientes a disminuir la contaminación y el deterioro de los recursos naturales renovables (suelo, aire y agua)".* En su Artículo 33, define las áreas de protección que constituyen franjas alrededor de los diferentes cuerpos de agua, incluyendo nacientes, arroyos, ríos, lagos, embalses y nacientes como una medida de disminuir los impactos sobre el recurso hídrico al preservar la cobertura boscosa cercana a las fuentes de agua.

Estas áreas de protección están definidas según el cuerpo de agua y la inclinación del terreno de la siguiente manera: a) 100 metros medidos de modo horizontal alrededor de nacientes permanentes; b) 15 metros en zona rural y 10 metros en zona urbana de ambos lados de las riberas de los ríos, quebradas y arroyos si el terreno es plano y 50 metros en caso de terrenos quebrados; c) 50 metros (medidos horizontalmente) en las riberas de lagos y embalses naturales, así como en lagos y embalses artificiales construidos por el Estado. Los límites para las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales se determinan en el reglamento complementario a esta Ley.

Ley de Biodiversidad (Ley No. 7788, 1998): Menciona el pago por servicios ambientales (incluidos los servicios reales o potenciales de agua), autorizando el cobro de costos a los usuarios por

estos servicios. Se incluyen las áreas silvestres protegidas como zonas geográficas dedicadas a la conservación de recursos naturales, culturales y ecosistémicos (incluyendo los recursos hídricos).

A continuación, se mencionan algunos decretos ejecutivos (reglamentos) relacionados con el tema de calidad del agua. En estos decretos se regulan las diferentes actividades y se definen detalladamente las acciones a tomar, junto con las respectivas metodologías. Además, en cada uno se establecen las entidades responsables encargadas de su ejecución y la composición de los comités técnicos a cargo de revisar y modificar cada uno de estos decretos.

Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (Decreto No. 33601, MINAE-S, 2006): Dada la importancia del recurso hídrico y el hecho de que su contaminación es uno de los problemas de mayor incidencia negativa en el entorno ambiental, este reglamento regula que los vertidos de aguas residuales de cualquier origen deberán recibir tratamiento antes de ser descargados en ríos, lagos, mares y demás cuerpos de agua; además, deberán alcanzar la calidad establecida para el cuerpo receptor, según su uso actual y potencial.

El reglamento establece la obligación de los generadores de contaminantes de tratar las aguas residuales y de confeccionar reportes operacionales. Para esto, se definen los parámetros físico-químicos universales y complementarios que se deben medir de carácter obligatorio. Entre los universales se citan: caudal, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, potencial de hidrógeno, grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sustancias activas al azul de metileno y temperatura. Parámetros complementarios requeridos en usos particulares incluyen: nitrógeno total, fosfatos, metales pesados, cianuro, fenoles, hidrocarburos, sulfuros, coliformes fecales y color. Se incluyen tablas con los límites máximos permitidos para los parámetros universales y complementarios.

Hay un capítulo acerca de las condiciones y la clasificación del reúso de aguas residuales y otro que describe las regulaciones relacionadas con el muestreo y análisis. También hay una norma para el contenido, procedimiento, elaboración y firma de reportes operacionales.

Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales (Decreto No. 33903, MINAE-S, 2007): Este decreto plantea las herramientas técnicas para ejecutar la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales del país, con énfasis en los cuerpos lóticos (ríos y quebradas o arroyos), basado en la medición de parámetros físico-químicos y el análisis de macroinvertebrados bentónicos, mediante el índice holandés y BMWP-CR, respectivamente. Se establecen los detalles metodológicos para la toma de muestras, el análisis de éstas, así como el cálculo de los índices y los rangos para la clasificación de la calidad. También se definen los parámetros complementarios a medir y las diferentes clases según los rangos obtenidos, así como los usos potenciales para cada una de las cinco posibles clases. El ente responsable de su ejecución es el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), a través de su Dirección de Aguas, y el Ministerio de Salud (MS) (MINAE/MS, 2007).

Reglamento del Canon Ambiental por Vertidos (Decreto No. 34431, MINAE-S, 2008): En el Artículo 4 de este decreto, este canon se define como *"un instrumento económico de regulación ambiental, que se fundamenta en el principio de 'quien contamina paga' y que pretende el objetivo social de alcanzar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, de conformidad con lo establecido en el artículo 50 de la Constitución Política, a través del cobro de una contraprestación en dinero, a quienes usen el servicio ambiental de los cuerpos de agua, bien de dominio público, para el transporte, y eliminación de desechos líquidos originados en el vertimiento puntual, los cuales pueden generar efectos nocivos sobre el recurso hídrico, los ecosistemas relacionados, la salud humana y las actividades productivas".* El decreto define todos los detalles relacionados con los procedimientos de aplicación del canon, y establece que los recursos provenientes de ésta serán administrados por el MINAE y ejecutados, previa consulta de un Consejo Directivo, tomando en cuenta prioridades ambientales y de saneamiento.

Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto No. 38924-S, 2015): Tiene como objetivo *"establecer los niveles máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua en beneficio de la salud pública".* Para lograr dicho objetivo se establecen los valores recomendados y máximos ad-

misibles para los distintos parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos en sus aspectos estéticos, organolépticos y de significado para la salud. También se indican la frecuencia mínima de análisis y el número de muestras, así como las dosificaciones para la desinfección.

2.2 Instituciones públicas

En Costa Rica existe una serie de instituciones que rigen la administración y fiscalización del recurso hídrico:

El rector de las aguas en Costa Rica es el ministro del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), dado que tiene como función la planificación y ejecución de las políticas de los recursos naturales y de protección ambiental del Gobierno de la República, así como la dirección, el control, la fiscalización, la promoción y el desarrollo en este campo en específico del agua superficial y subterránea. Lo anterior basado en su Ley constitutiva 7152 de 1990. Es este Ministerio a través del Vice-Ministerio de Aguas y de la Dirección de Aguas que asigna concesiones de agua para los diferentes aprovechamientos, cobra el canon de aprovechamiento de aguas y el canon de vertidos y vela por la calidad de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos. La Dirección de Gestión de Calidad Ambiental del MINAE tiene la misión de *"diseñar e implementar las herramientas conceptuales, técnicas y jurídicas para la definición de estrategias y políticas públicas en materia de calidad ambiental que favorezcan la prevención, mitigación y reversión de la degradación del recurso agua, aire y suelo. Asimismo, establece los mecanismos de monitoreo y control que garanticen el cumplimiento de éstas."*

El rector que debe velar por la calidad del agua para consumo humano y de la calidad de los vertidos de aguas residuales es el ministro del Ministerio de Salud, creado por medio de la Ley Orgánica del Ministerio de Salud N° 5412 de 1973. Esto se debe a que, entre sus atribuciones, tiene todo aquello relacionado con las políticas, normas técnicas y para ejercer la jurisdicción y el control técnico, así como realizar las acciones y actividades que velen por la salud pública y ambiental. Esto lo realiza a través de la Dirección de Protección al Ambiente Humano.

El AyA, de acuerdo con su Ley constitutiva, es el ente rector técnico en los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento de aguas residuales y, al mismo tiempo, operador; tiene como misión *"asegurar el acceso universal al agua potable y al saneamiento de forma comprometida con la salud, la sostenibilidad del recurso hídrico y el desarrollo económico y social del país".* La recolección y el tratamiento de las aguas residuales es responsabilidad del AyA, en aquellos sitios donde provea el servicio de abastecimiento de agua. Conforme lo establece su Ley Constitutiva, al AyA le corresponde: la recolección, evacuación, tratamiento y disposición de los residuos líquidos domésticos; definir el sistema de alcantarillado sanitario como redes de recolección, colectores, plantas de tratamiento y todo lo necesario para recibir, transportar y tratar las aguas negras o servidas producidas en viviendas o sitios de trabajo.

Además del AyA, existen tres tipos de entidades que se encargan del servicio de abastecimiento de agua potable y saneamiento de aguas residuales: 1) la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), 2) las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS), o también conocidas como Comités y/o Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales (CAAR´s), y 3) las Municipalidades. El AyA se encarga de la mayoría de la distribución y saneamiento de las zonas urbanas (cerca de 50% de la población). El AyA también tiene una Sub-Gerencia encargada de velar y fiscalizar la gestión de las ASADAS, las cuales son figuras creadas por la Ley de Asociaciones prestando un servicio público, por lo que son sin fines de lucro, y aplicando la tarifa establecida por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). La ESPH tiene la misión de *"brindar servicios de calidad en el sector de agua, energía, saneamiento, infocomunicaciones y otros, que aporta valor y desarrollo a la sociedad mediante la mejora continua de su gestión".* En su concepción actual, la ESPH es un híbrido jurídico: una empresa municipal de la provincia de Heredia que maneja recursos públicos y cuyo patrimonio está constituido por todos los acueductos de los municipios asociados.

El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) fue concebido desde sus inicios como una institución con un rol estratégico en el tema de la gestión del recurso hídrico, tanto a nivel de su participación directa como en la coordinación con otras instituciones de los secto-

res agropecuario y ambiente. Fomenta el desarrollo agropecuario en el país, contribuye a realizar proyectos de desarrollo agropecuario, procura que en la creación de distritos de riego se efectúe una modificación racional y democrática de la propiedad de la tierra. En lo que se refiere al agua subterránea, el SENARA es el órgano técnico-científico que investiga, define y protege los acuíferos y sus zonas de recarga a nivel de país.

Otras instituciones que están relacionadas con el recurso hídrico en Costa Rica son el Instituto Costarricense de Electricidad, la Dirección de Cambio Climático, el Instituto Meteorológico Nacional, el Ministerio de Agricultura y Ganadería y la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.

2.3 Relaciones con ONG y universidades (investigación científica)

En Costa Rica, la mayoría de las investigaciones científicas se desarrollan en tres universidades públicas: la Universidad de Costa Rica (UCR), la Universidad Nacional (UNA) y el Tecnológico de Costa Rica (TEC, antes ITCR). En cada una de éstas, existen centros de investigación, institutos y laboratorios que desarrollan proyectos de investigación relacionados con los recursos hídricos del país. Los laboratorios analíticos del CICA (Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, UCR), del CEQUIATEC (Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos, TEC), del IRET (Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, UNA), además del LASEQ (Laboratorio de Análisis y Servicios Químicos, UNA) y el LAA (Laboratorio de Análisis Ambiental, UNA), cuentan con las respectivas acreditaciones por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) para diversas pruebas relacionados con el análisis de calidad de agua para diferentes usos. Además, se realizan investigaciones en la temática del agua en otras universidades privadas, como por ejemplo la Universidad EARTH (Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda) y el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza).

Entre las investigaciones que se han realizado en el ámbito de los recursos hídricos destacan sobre todo aquellas relacionadas con la calidad de cuerpos de agua superficiales, especialmente en la Gran Área Metropolitana (*e.g.* Herrera *et al*., 2013; Mena-Rivera *et al*., 2017). Otros estudios se han llevado a cabo en torno al efecto del uso de plaguicidas en diferentes tipos de plantaciones (*e.g.* Castillo *et al*., 2000, 2006; Echeverría *et al*., 2012; Pérez-Castillo *et al*., 2013; Rasmussen *et al*., 2016, Carazo-Rojas *et al*., 2018) y el uso de indicadores biológicos en la evaluación y el monitoreo de la calidad de cuerpos de agua superficiales, tanto ríos como lagos (*e.g.* Mafla, 2005; Michels *et al*., 2006; Fernández y Springer, 2008; Stein *et al*., 2008; Sedeño-Días *et al*., 2012; Rizo-Patrón *et al*., 2013, Gutiérrez-Fonseca y Lorion, 2014; Umaña-Villalobos, 2014; Céspedes-Vargas *et al*., 2016; Kohlmann *et al*., 2015; Svensson *et al*., 2017; Umaña-Villalobos y Farah-Pérez, 2018).

Dada su amplia experiencia, los investigadores de las diferentes universidades colaboran regularmente con el Gobierno central y los gobiernos locales, así como con algunas Organizaciones No Gubernamentales (ONG) en la formulación, revisión y ejecución de iniciativas relacionadas con la gestión de los recursos hídricos.

2.4 Monitoreo y base de datos

Debido a que en el país la mayoría de las iniciativas para evaluar la calidad de las aguas continentales ha sido de esfuerzos aislados y estudios puntuales por periodos cortos, se identificó la necesidad de establecer un Programa Nacional de Monitoreo que incluya la evaluación periódica de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

A partir de ese Programa Nacional se elaboró el Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica con el apoyo de un grupo de profesionales y académicos especializados en temas del recurso hídrico, de diferentes universidades públicas e instituciones estatales. Este Plan define los sitios de monitoreo y establece la frecuencia de los muestreos, así como los parámetros a medir en cada uno, utilizando como guía lo que establece el Decreto 33903-MINAE Reglamento de Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales. Su ejecución inició a partir del año 2015, con el apoyo de las tres universidades públicas (TEC, UCR y UNA), las cuales llevan a cabo los muestreos y análisis de las muestras por un periodo de cinco años.

Se espera que su implementación genere la información de línea base (base de datos nacional) para realizar la clasificación de la calidad del agua en cada una de las 34 cuencas del país y reglamen-

tar, así, el uso adecuado del recurso hídrico. Para garantizar el acceso público a los datos generados de estos monitoreos, se está en proceso de crear mapas en el sitio web de la DA (http://www.da.go.cr/), donde se podrán consultar los resultados obtenidos para cada uno de los sitios incluidos en el Plan.

3. Problemas principales que impactan en la calidad de agua del país

Como es sabido, el interés primordial de conocer la calidad de las aguas continentales sigue siendo la repercusión sobre la salud humana, puesto que en su mayoría son esas fuentes las que se emplean para abastecer la población del país, siendo entonces los criterios de potabilidad los que imperan a la hora de realizar análisis químicos en las potenciales fuentes de consumo (Decreto Ejecutivo No 38924-S, 2015). Los casos en que las instancias oficiales han identificado y cuantificado otras posibles fuentes de contaminación en los cuerpos de agua han sido en aquellos en que la salud humana se ha visto comprometida, tal como ocurrió en la zona de Aguas Zarcas, en la zona norte del país, debido a ocurrencia natural del arsénico en aguas subterráneas (Mollinedo, 2013).

Desde setiembre de 2015, el país cuenta con un reglamento actualizado para la calidad de agua potable (Decreto Ejecutivo No 38924-S, 2015). Este reglamento define con claridad las variables que deben cuantificarse en las fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, siempre y cuando estén destinadas para consumo humano o en procesos cuyo destinatario sea el ser humano. Además, Costa Rica tiene un Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, cuya última versión es del año 2017. En este reglamento se detallan las variables que deben cuantificarse y los límites máximos permitidos para los distintos tipos de aguas residuales de acuerdo con el uso que éstas hayan tenido y el tipo de cuerpo receptor.

3.1 Desecho de origen urbano

En cuanto a los cuerpos de agua superficiales existen diferencias entre los ríos que transcurren por las zonas urbanas y los que transcurren en las zonas rurales. Hay diferencias en términos de los contaminantes con mayor visibilidad, aquellos que acaparan mayor atención mediática como lo son los desechos sólidos de origen humano: los plásticos, aunque no se escapan a la vista los trozos de materiales domésticos, fragmentos de vehículos automotores y restos de materiales de construcción, siendo el ejemplo más evidente lo que ocurre en la cuenca del Río Grande de Tárcoles, ya que la mayoría de sus afluentes discurren por la Gran Área Metropolitana (Soto, 2012; Gutiérrez Wa-Chong, 2018).

Estos ríos o pequeños arroyos urbanos han sido usados por décadas como vertederos que evacuan del Área Metropolitana muchos de los desechos que evidencian la mala gestión que hay de los residuos sólidos en todo el país, además de la falta de un verdadero sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas. También incide sobre esta situación la mala planificación urbana, que ha permitido la existencia de viviendas en las márgenes de estos cuerpos de agua. Estas viviendas, en su gran mayoría ilegales, carecen de sistemas de recolección de desechos, por lo que éstos son lanzados directamente a los ríos.

3.2 Contaminación fecal

Es usual en los ríos de la zona urbana que en la temporada de estiaje los olores desagradables aumenten, siendo esto un indicativo de la descarga ilegal de aguas con alto contenido de materia orgánica, en muchos casos con materia fecal de origen humano. En ese aspecto, el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA ha generado informes en los que reporta la calidad de las aguas de distintas cuencas del país, evidenciando un alto contenido de coliformes fecales en muchos de los sitios muestreados. Por ejemplo, en el Río Tempisque la descarga de los ríos Liberia, Cañas y Bebedero aportan una carga de materia fecal importante a su cuenca (Mora-Alvarado *et al*., 2002). Mora-Alvarado (2004) también reportó una elevada concentración de coliformes fecales en la cuenca del Río Grande de Tárcoles. Se incluyeron en ese estudio muestreos en esteros de todo el país; en poco menos de la mitad de ellos se cuantificaron coliformes fecales en elevadas cantidades, además se tomaron muestras en embalses y lagos, siendo estos dos últimos los sitios con mejor calidad microbiológica del estudio. Otros estudios publicados, como los de Calvo-Brenes y Mora-Molina (2012) y Barrantes *et al*., (2013) corroboraron la contaminación fecal elevada en muchos ríos del

Gran Área Metropolitana, destacando el Río María Aguilar y el Río Torres.

3.3 Contaminación por hidrocarburos de petróleo

Debido a las actividades humanas relacionadas con la navegación o la generación de energía eléctrica, se ha reportado la presencia elevada de hidrocarburos en sitios costeros, como lo son los canales de Moín en el Caribe y el Estero de Puntarenas, en el Pacífico (Acuña *et al*., 2004); aunque no es lo deseable, es lo esperable de zonas de alto movimiento de embarcaciones tanto de transporte de personas como de materias primas. La presencia de hidrocarburos también ha sido reportada en fuentes de agua superficiales y subterráneas (Mora-Alvarado y Portuguez, 2010). Estos casos se han asociado a errores humanos e incluso negligencia. Algunos sitios en que se han cuantificado hidrocarburos han sido el Río Quebradas en Pérez Zeledón, cerca de los Sitios de Moravia, el embalse del Llano en Orosi, San Ignacio de Acosta, además del acuífero a cargo de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, contaminado con gasolina y diésel, el cual recibió bastante atención mediática. La mayoría de estos casos ha sido eventos de contaminación puntuales.

3.4 Zonas rurales

Con respecto a las fuentes de aguas de las zonas rurales, la situación de los desechos sólidos es menos dramática, por el simple hecho de haber menor densidad en población, pero aquí la problemática radica en que muchas de esas fuentes son prioritariamente de uso agrícola. Esta competencia por el recurso hace que se deba recurrir a fuentes subterráneas en estas áreas. Los cultivos extensivos en área, pero intensivos en producción, como la caña de azúcar, el banano, la palma aceitera o la piña, son actividades que demandan el uso de fertilizantes y plaguicidas en abundancia. En el caso de los fertilizantes, ha sido poco estudiada su presencia en aguas superficiales, por una cuestión más bien metodológica, debido a la elevada solubilidad en el agua de los compuestos que se emplean. Estas sustancias químicas (nitrogenadas y fosforadas) fácilmente se transportan por la escorrentía, sobre todo en zonas de elevada precipitación, lo que convierte a los ríos o embalses cercanos en receptores de dichas sustancias. No es fácil entonces demostrar la presencia de estas fuentes de contaminación en aguas superficiales, a menos que las características del cuerpo de agua permitan que se manifieste su principal efecto: la eutrofización, el aumento desmedido de los nutrientes en el agua (nitrato, amonio y fosfato principalmente) y por consiguiente el crecimiento de especies vegetales acuáticas. Estas condiciones pueden ser los mejores indicativos de alteraciones en la concentración natural de estas sustancias nutrientes en el agua; los monitoreos estacionales son la mejor manera de registrar dichas variaciones (Jones *et al*., 1993; Umaña *et al*., 1999).

A pesar de esta dificultad, Castillo *et al*. (2012) para El Estado de la Nación compilaron la información más relevante sobre la cuantificación de nitrato, presumiblemente de origen agrícola, en distintos cuerpos de agua superficiales y subterráneos; se reportó la presencia de nitrato en pozos de zonas dedicadas a la agricultura tanto en la región Caribe como en la Chorotega (Guanacaste). En cuanto a las aguas superficiales, en ríos y quebradas de Cartago, Guanacaste y Limón, también se cuantificó la presencia anómala de dicho nutriente. Guevara y Herrera (2014) reportaron concentraciones elevadas de nutrientes en algunas quebradas y ríos del cantón de San José, aunque, por ser ríos ubicados en la zona urbana, el mal manejo de las aguas domésticas podría estar alterando la concentración natural de dichas sustancias y no necesariamente las actividades agrícolas.

3.5 El arsénico, un caso de importancia en salud pública

Debido al contexto geológico del país, caracterizado por un vulcanismo y fallamiento activo, en algunas regiones de la zona norte existe arsénico de origen natural en el agua subterránea. El origen del arsénico ha sido estudiado por Alpízar y Vargas (2017) en un proyecto de investigación desarrollado en la Universidad de Costa Rica, vía Convenio Específico de Cooperación Técnica con el AyA (2013-2016). En dicho proyecto se han caracterizado las zonas de Aguas Zarcas, en la provincia de Alajuela; Cañas, Bagaces, Los Chiles y La Cruz, en Guanacaste. Este elemento es altamente tóxico, ya sea de manera acumulativa o puntual. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud y el Reglamento de Agua Potable de Costa Rica, el límite máximo permitido para aguas de consumo humano es 10 microgramos

por litro. Para 2013 se habían identificado 24 poblaciones afectadas por la presencia de este elemento, tanto en pozos como en fuentes superficiales; las comunidades se ubican en las provincias de Guanacaste y Alajuela: Aguas Zarcas, Cañas, Bagaces y la Cruz son algunas de ellas (Mollinedo, 2013). El arsénico aparece de manera natural en un tramo del Río Aguas Zarcas en Lomas, 3 km al norte de la localidad de Aguas Zarcas, en donde existe una zona de falla que es erosionada por el agua de dicho río. En cuanto a los hallazgos en el agua subterránea, éstos serán comentados en la sección h. de este documento. Desde el hallazgo de este contaminante, la principal preocupación de los entes estatales ha sido garantizar agua potable libre de arsénico o, al menos, con límites por debajo del máximo permitido. Para ello, el AyA se ha dado a la tarea de buscar nuevas zonas para perforar pozos en donde las aguas subterráneas estén libres del elemento, abastecer las comunidades afectadas con aguas de acueductos aledaños o diluir el agua de consumo para llevar la concentración por debajo del máximo permitido (Mora-Alvarado, 2011; Córdoba, 2017).

En los últimos años, el esfuerzo para resolver esta situación se ha enfocado no sólo en diseñar nuevos acueductos, como es el caso de los nuevos acueductos Cañas-Bebedero y el de Bagaces; además, se construyeron seis plantas especializadas para la remoción del arsénico en La Cruz, Cañas y Bagaces, entre otros proyectos gestados por el AyA. También el AyA se ha dado a la búsqueda de tecnologías que puedan remover el arsénico de las fuentes subterráneas aprovechadas, esto en asociación con universidades estatales; por ejemplo, en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, existen al menos tres proyectos inscritos relacionados con la temática (Vicerrectoría de Investigación http://www.vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/).

3.6 Presencia de plaguicidas

Este tema ha sido relevante en los últimos años en el país, pues se determinó evidencia de la contaminación de acuíferos en zonas de cultivos, en específico en las comunidades de Milano, El Cairo, La Francia y Luisiana, en el cantón de Siquirres; este acuífero fue contaminado con bromacil, un herbicida que se emplea en el cultivo de la piña. A raíz del alto poder de dilución de este herbicida y de su toxicidad, se prohibió su uso en el país en junio de 2017. Dicha contaminación llevó al AyA a tener que abastecer de agua potable a las poblaciones con camiones cisterna y a construirles un nuevo acueducto, captando fuentes de agua más lejanas sin riesgo de contaminación por el cultivo de la piña.

Ruepert (2011) para El Estado de la Nación recopiló la información existente sobre la incidencia de plaguicidas en aguas superficiales hasta el año 2010, todos ellos en la zona Caribe del país. De acuerdo con este trabajo, en un proyecto sobre la calidad de agua superficial y de sedimentos en ríos, realizado entre 2008 y 2011 se determinó la presencia de sustancias como bromacil, clorpirifós, diurón, fenbuconazol y endosulfán, compuestos relacionados con el cultivo de la piña y del banano. En ese mismo informe se indica que en un monitoreo realizado entre 2009 y 2011 en el Río Jiménez, Limón, se determinó la presencia de ametrina y diurón en aguas superficiales, ambos plaguicidas ligados al cultivo de piña, mientras que en la del Río Madre de Dios, también en el Caribe, entre los años 2010 y 2013, se determinó la presencia de siete plaguicidas relacionados con el cultivo de la piña, el arroz y el banano. También se recopilaron las incidencias en varias zonas del país (Matina, Bagaces, Puntarenas, y Caletas-Ario) en que se demostró la mortalidad de organismos acuáticos o intoxicación de humanos, todas relacionadas con la presencia de plaguicidas. Toda la información compilada por Ruepert (2011) fue posteriormente aumentada por Castillo y colaboradores (2012), ya que se presentaron más datos de otros estudios en los que se evidenció la presencia de gran cantidad de plaguicidas en distintos cuerpos de aguas superficiales del país.

En el mes de junio de 2018, en el marco del proyecto Buenas Prácticas Agrícolas en la producción de piña de la Zona Norte, ejecutado por el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), se reportó la presencia de plaguicidas en fuentes de agua de Pital, Aguas Zarcas y Venecia de San Carlos. En dicho proyecto se recolectaron 22 muestras de aguas superficiales y 10 muestras de aguas de pozos, entre 2015 y 2017; bromacil, ametrina y diurón fueron las sustancias más frecuentemente reportadas, aunque se detectaron también metalaxil, carbendazím y hexazinona (O´neal Coto, 2018). Esta misma casa

de enseñanza, por medio del CICA, había advertido la presencia de residuos de bromacil y ametrina en las aguas y sedimentos del Humedal Térraba-Sierpe, zona fuertemente influenciada por el cultivo de piña y arroz (O´neal Coto, 2017).

La problemática relacionada con la presencia de plaguicidas en fuentes de aguas tanto superficiales como subterráneas se incrementa aún más por el hecho de que muchas de las sustancias usadas son de poca persistencia ambiental, haciendo difícil su determinación por analíticos convencionales, que se fundamentan en la recolección de muestras que no reflejan la situación inmediata o puntual, sino más bien el carácter acumulativo de algunas de estas sustancias químicas. Otro factor que juega en contra de la adecuada respuesta ante la presencia de estas sustancias es que no existe un ente estatal que de manera sistemática cuantifique todos estos productos; la tecnología empleada en su determinación es de un precio muy elevado y es sólo gracias a la colaboración entre el Estado y las universidades públicas que se ha logrado hacer estos importantes hallazgos.

3.7 Contaminantes emergentes

Se les define así por el reciente interés que han recibido por la comunidad científica internacional, siendo mayoritariamente sustancias sobre las que no se había puesto el foco de investigación, por encontrarse en concentraciones muy bajas, por debajo de los microgramos por litro o incluso los nanogramos por litro, así que solamente el avance de las técnicas analíticas es lo que ha permitido centrarse en ellas. De la mano de ese interés analítico ha surgido el interés por conocer su efecto sobre la salud humana y otros organismos que están en contacto con ellos, principalmente organismos acuáticos.

Estas sustancias comprenden un amplio espectro de compuestos químicos: productos de cuidado personal, desinfectantes, perfumes, hormonas, bactericidas, surfactantes, retardantes de fuego, antibióticos. No existe en el país regulación alguna sobre la presencia de estas sustancias en los cuerpos de agua, además de que su detección tiene un elevado costo y su identificación se ha debido a iniciativas provenientes de la academia, puesto que los entes estatales carecen de la capacidad tecnológica para cuantificarlos, a pesar de ser sustancia ampliamente distribuidas en el medio ambiente.

Existen muy pocas publicaciones en Costa Rica sobre esta temática. En un estudio de Spongberg *et al*. (2011) se recolectaron 86 muestras de agua superficial, tanto dulce como salobre, a lo largo de todo el país. En 77% de las muestras se encontró doxiciclina, en 43% sulfadimetoxina, en 41% ácido acetil salicílico, en 34% triclosán y en 29% cafeína. Esta última fue la sustancia que estuvo en mayor concentración (1,1 miligramo por litro), seguida por doxiciclina, ibuprofen, gemfibrosil, acetaminofén y ketoprofen, éstos en el orden de los microgramos por litro. La mayor incidencia de estas sustancias se dio en los efluentes cercanos al hospital de Golfito, la planta de tratamiento de Liberia, cerca del Parque Nacional Manuel Antonio y en el Río Grande de Tárcoles. El verdadero efecto de estas sustancias sobre la salud humana o si están presentes también en agua potables es aún desconocido en el país. Lo que sí se sabe es que existen iniciativas académicas por aumentar la cantidad de sitios de muestreo, cantidad de sustancias y regiones del país, con tal de tener un panorama más claro de lo que realmente está ocurriendo con estos compuestos químicos que son vertidos a los cuerpos de agua.

3.8 Contaminación del agua subterránea

En Costa Rica, al igual que en otras partes del mundo, se aprovecha el agua subterránea con distintos fines, tales como: abastecimiento público, riego de cultivos, turismo e industria entre otros usos; según el MINAE, 80% del agua aprovechada para consumo humano en el país es subterránea, la cual se obtiene mediante la captación de manantiales y pozos.

El estudio de la calidad del agua subterránea en el país se ha enfocado principalmente en la determinación de la potabilidad de aguas destinadas al consumo humano. Esta labor es desarrollada por los entes que administran los sistemas de abastecimiento público; el AyA es la entidad que abastece a 50% de la población nacional, las ASADAS cubren 30%, Municipalidades 15% y la ESPH 5%. Si bien es cierto que el Decreto 33903, MINAE-S, 2007 para el monitoreo de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales busca establecer una línea base en diferentes lugares del territorio nacional, existe un vacío legal a nivel nacional en el monitoreo de la calidad del agua subterránea. Son pocas las investigaciones acerca de esta temática debido a los altos costos de los análisis químicos. La relación entre el

agua superficial y subterránea debe estudiarse en detalle, debido a que la contaminación en los ríos aumenta día con día por la disposición inadecuada de desechos sólidos y líquidos y ésta puede alcanzar los acuíferos cuando los ríos son influentes (están conectados hidráulicamente con el agua subterránea). El estudio del SENARA-BGS (1985) menciona que hay sectores influentes del Río Virilla, condición que favorecería la migración vertical de los contaminantes hacia el agua subterránea, por lo que debe existir un control permanente de los posibles efectos adversos que pueden generarse. Si bien es cierto que se están realizando esfuerzos para recolectar las aguas residuales en el área metropolitana por medio del alcantarillado sanitario y mejorar su tratamiento, aún la mayoría sigue disponiéndose inadecuadamente.

Las fuentes de contaminación del agua subterránea son tanto puntuales como difusas. La contaminación según el tipo de compuestos se puede clasificar en:

1. Contaminación bacteriológica: se han detectado coliformes totales y fecales en pozos excavados o artesanales que captan acuíferos someros en zonas rurales, ya que éstos se ubican con frecuencia cerca de los tanques sépticos de las casas, además de que son susceptibles a las inundaciones, y con frecuencia son abandonados y usados como basureros.
2. Contaminación por sustancias inorgánicas: los nitratos han sido reportados en el manantial La Libertad por SENARA-BGS (1988) y por Losilla *et al*. (2001), y en el acuífero Barva (Reynolds *et al*., 2006); los plaguicidas en zonas agrícolas de la zona Atlántica (Ruepert *et al*., 2005) y zona Norte del país son sin duda una de las fuentes difusas más comunes, destacándose el bromacil entre otros compuestos en el Cairo y Milano en Siquirres, en Veracruz, Pital de San Carlos y en Río Cuarto de Grecia. Todos estos contaminantes se asocian con actividades antrópicas. Algunos otros elementos químicos han sido reportados como anómalos en el agua subterránea, tales como el manganeso y el hierro, principalmente se presentan en la vertiente del Caribe y subvertiente Norte; estos elementos aparecen en forma natural debido a las condiciones reductoras encontradas en los acuíferos de estas regiones.

   Mollinedo (2013) y Araya (2018) determinaron el origen del arsénico a partir de información hidrogeoquímica e hidrogeológica en las zonas de Aguas Zarcas y Los Chiles, Alajuela, respectivamente. El arsénico en las zonas de Bagaces y Cañas, en Guanacaste, ha sido estudiado por Ramos *et al*. (2014). Otros tipos de contaminación se han reportado desde inicios del siglo XXI, por ejemplo, salinización por problemas por intrusión salina en varias playas del Pacífico Norte (Arellano y Vargas, 2001; Arias-Salguero y Vargas, 2003). Otro caso es el de Tamarindo, Guanacaste, en donde se han detectado incrementos en la conductividad eléctrica y los niveles de cloruros en el agua, debido a la extracción excesiva del agua subterránea mediante el bombeo de pozos cercanos a la costa (Astorga, 2018, comunicación personal).
3. Contaminación por compuestos orgánicos: también se conoce acerca de la contaminación puntual por hidrocarburos en dos sitios: el pozo AB-1089, perteneciente a la ESPH, que se ubica en el Barrial de Heredia a la par del cual se ubicó una gasolinera que tuvo un derrame, por lo que el pozo fue desconectado del sistema desde 2005; otro caso es el del acuífero de Moín, en el Plantel de RECOPE en Limón estudiado por Guzmán (2006). Ambos sitios han tenido que intervenirse mediante procesos de remediación. No se descarta que existan otros sitios contaminados en el país; sin embargo, no han sido detectados por la falta de monitoreo del agua subterránea.

Se pueden citar algunos estudios acerca de la composición química del agua en algunos acuíferos específicos, tales como: SENARA-BGS (1985) desarrollado en el Valle Central, donde se caracterizaron química e isotópicamente las aguas de los acuíferos Barva y Colima; Gómez y Arredondo (1994) y Vargas (2015) estudiaron las características hidrogeoquímicas del acuífero Tempisque; los rasgos hidrogeoquímicos del agua subterránea en la cuenca del Río Grande fueron estudiados por Vargas (2017). La calidad del agua subterránea de otros acuíferos ha sido estudiada esporádicamente mediante tesis de grado y posgrado en Geología. Sin embargo, faltan más investigaciones y además deben plantearse a nivel de país proyectos para la instrumentación

adecuada y el monitoreo permanente de la calidad del agua subterránea para prevenir y detectar en forma temprana contaminaciones que puedan afectar las fuentes de aguas subterránea usadas en el abastecimiento público.

Actualmente el SENARA desarrolla los Planes de Abastecimiento Sostenible (PAS), en donde el usuario solicita el apoyo a dicha entidad para realizar investigaciones en acuíferos seleccionados e inician un proceso continuo para el manejo de los recursos hídricos. Ya se han realizado dos proyectos de este tipo: uno en la zona de Parrita en el Pacífico Central y otro en Santa Cruz Guanacaste, en los cuales se caracteriza la calidad del agua subterránea (Ramírez, 2018, comunicación personal).

4. Aspectos sociales y económicos

4.1 Salud

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha sugerido que las diarreas son un síntoma de enfermedades infecciosas, usualmente esparcidas por la contaminación del agua (OMS, 2000). Entre los factores que pueden influir para reducir el número de casos de diarrea están: el acceso a agua para consumo humano, mejoras en el sistema sanitario, buena higiene personal y de alimentos, y educación en salud acerca de cómo se transmiten las enfermedades (OMS, 2000). Entre los pobres y especialmente en países en desarrollo, las muertes por diarrea son numerosas. Cada año se presentan alrededor de 4 mil millones de casos de diarrea en el mundo (OMS, 2000).

Costa Rica ha alcanzado niveles muy satisfactorios a nivel de cobertura de agua para consumo humano, llegando en 2012 a 98% de cobertura con agua por cañería intradomiciliar y 99% con fuentes de agua potable mejoradas (Hidalgo-León *et al*., 2015). Uno de los problemas más apremiantes en términos de la calidad de agua en Costa Rica, identificado en estudios previos (Hidalgo-León *et al*., 2015), es el problema de baja cobertura en sistemas sanitarios para el tratamiento de aguas negras y grises especialmente en las áreas metropolitanas. Cabe mencionar que en 2016 se logró un paso positivo en la cobertura de alcantarillado sanitario con tratamiento de aguas residuales que pasó de 4,2 % en 2014 a 14,4 en 2018 (AyA, 2018).

Aunque en realidad los niveles de cobertura de tratamiento de aguas residuales deben mejorarse mucho, la buena cobertura en términos del acceso a agua para consumo humano y el sistema básico de salud han hecho que la incidencia de enfermedades diarreicas y, en particular, la mortalidad relacionada con ellas sea relativamente baja todavía con respecto a otros países de la región (Hidalgo-León *et al*., 2015). El porcentaje de causas de muerte en infantes debido a enfermedades infecciosas y parasitarias es de 1,6%, mientras que por causas respiratorias es de 4,3% (INEC, 2013). Cabe destacar que las enfermedades del sistema digestivo en Costa Rica son raramente mortales en la niñez; por ejemplo, a 2011, el porcentaje de muertes de niños menores de 5 años por estas causas fue de 0,01 por mil, comparado con la tasa de mortalidad de 2,21 por mil obtenida sumando las causas de muerte de todo tipo para ese rango de edades (Ministerio de Salud, 2011; Hidalgo-León *et al*., 2015). De hecho, ni la diarrea ni la hepatitis aparecen dentro de las primeras diez causas de muerte en los niños menores de 5 años en ninguno de los años de 2012 a 2015 que se evaluaron en INEC (2015; ver su cuadro 7.12). Las incidencias de otros tipos de enfermedades asociadas con el agua se encuentran en Hidalgo-León *et al*. (2015). En Costa Rica, las tasas de mortalidades de las primeras cinco fuentes de muertes han permanecido relativamente constantes a través del tiempo, y aquellas muertes debido a enfermedades del aparato digestivo (entre las cuales una fracción podría estar relacionada con la calidad del agua) son alrededor de un tercio de las enfermedades debidas a la primera causa de muerte en el país (problemas del aparato circulatorio). Para referencia, la tasa de mortalidad promedio para esos años debido a ciertas enfermedades infecciosas y parasitarias es de 0,81 muertes por cada 10 mil habitantes (INEC, 2015) y no está dentro de las primeras diez causas de muerte en el país. Para el caso en particular de diarreas, la tasa de mortalidad promedio de 2008 a 2015 es de 0,1 muertes por cada 10 mil habitantes, en su gran mayoría adultos mayores de 75 años (Ministerio de Salud, 2016).

4.2 Pobreza

En cuanto a la pobreza, los porcentajes promedio para el período 2012-2015 de la población en condición de pobreza no extrema, extrema y total son,

respectivamente, 16,4%, 7,3% y 23,7% (INEC, 2015). Esto por sí mismo representa un reto social en muchas dimensiones, pero aunque el país enfrenta cada vez más retos para mantener sus servicios básicos, no se ha demostrado en ningún estudio que las limitaciones de las clases sociales más bajas con respecto al acceso al agua para consumo humano, educación higiénica básica o sistemas de salud básicos han sido lo suficientemente determinantes para identificar claramente correlaciones entre estrato social y la prevalencia de brotes de enfermedades relacionadas con la calidad del agua. Por ejemplo, en el caso de las diarreas, no pareciera haber una correlación entre el índice de desarrollo social y la tasa de diarreas (Cuadro 19 de Ministerio de Salud, 2016). Otras enfermedades relacionadas con la cantidad del agua disponible y la presencia de criaderos de vectores transmisores de enfermedades como el Dengue, Zika y Chikunguña, sí parecen tener una preferencia de presentar brotes importantes en municipios rurales (Ministerio de Salud, 2018). En estas comunidades, la calidad de los servicios de soporte suele ser más limitada y la población en condiciones de pobreza puede estar más vulnerable socialmente. Con respecto a las poblaciones indígenas (que representan 2,4% de la población total del país según censo del 2011), la pobreza desde el punto de vista del método de Necesidades Básicas Insatisfechas señala que *"solo el 7,6% de los indígenas no tiene carencias. Las principales carencias están relacionadas con desarrollo productivo, seguridad alimentaria, posibilidades de comercialización, acceso al agua potable, servicios básicos y desarrollo de infraestructura de todo tipo (salud, educativa, productiva y social, entre otras). En las poblaciones indígenas los conceptos de pobreza y vulnerabilidad difieren sustancialmente con respecto a los aplicados a la población no indígena"* (PND, 2014).

4.3 Nivel de educación en comunidades. Programas de educación y currícula

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2015-2018 incluye, entre muchas otras metas, el fortalecimiento de la gestión comunitaria del agua, así como el aumento en la recolección y el tratamiento de aguas residuales (PND, 2014). También se menciona la necesidad de atacar las vulnerabilidades de los sistemas viales, energéticos y de servicios públicos (agua, saneamiento, salud) ante amenazas naturales, socio-naturales e industriales. Para poder llegar a tener un desarrollo sostenible, el país requiere mejorar en muchos aspectos, entre los que se mencionan: la conservación del recurso hídrico, la explotación racional de los recursos marinos, la gestión de residuos, los mecanismos de adaptación y mitigación ante el cambio climático, el ordenamiento territorial, el uso de energías limpias para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y fortalecer la cultura y educación ambiental (PND, 2014). *"También, es un reto sustantivo hacer cumplir la Ley y que el marco institucional logre una mejor gestión ambiental, donde la articulación entre sostenibilidad ambiental y desarrollo económico y social sea un aspecto central"* (PND, 2014). La educación ambiental ha sido mencionada entre otros servicios prioritarios que se necesitan evaluar en los centros educativos de manera que se puedan mejorar y así promover una mejor educación y permanencia de los estudiantes en los centros de enseñanza. De hecho, la educación ambiental (desde el primer ciclo a la educación diversificada) se considera eje central del currículum y de la gestión institucional con el objetivo de fortalecer la educación para la vida que fomente la creatividad e innovación que potencie el desarrollo humano (PND, 2014).

4.4 Género

Cuestiones de género se han asociado al abastecimiento de aguas en algunos casos. Por ejemplo, Rico (1998) menciona que las mujeres en Costa Rica han participado tradicionalmente en la construcción de acueductos, pero son relegadas en cuanto al porcentaje de ellas que forman parte de la administración de los proyectos. Las estadísticas de salud relacionadas con diferentes padecimientos son diferenciadas por sexo en la información del Ministerio de Salud, pero en nuestro conocimiento no se ha efectuado un análisis estadístico de las incidencias de enfermedades de todo tipo para hombres y mujeres por separado para conocer las causas de las posibles diferencias (hay un análisis de la incidencia de hepatitis B, dengue y malaria por sexo en INEC *et al*., 2010). En Costa Rica existe un Instituto Nacional de la Mujer (INAMU) que está encargado de velar por las condiciones igualitarias de las mujeres, pero en algunos aspectos presenta brechas significativas, como el acceso al empleo (INEC *et al*., 2010).

4.5 Áreas rurales y urbanas

En Costa Rica, los sistemas de disposición de excretas están basadas en el uso de tanques sépticos (76,9%) y alcantarillado con y sin tratamiento (21,1%). La mayoría de los servicios urbanos lo proporciona el AyA (aunque también está presente en las regiones rurales) y en menor volumen la ESPH y las municipalidades, mientras que las ASADAS sirven usualmente las regiones rurales. De los 21 sistemas de tratamiento de aguas residuales administrados por AyA, 9 incumplen el Reglamento de vertidos y reúso de aguas residuales, específicamente en la determinación de DBO-total; por su parte, la ESPH administra 5 sistemas de tratamiento, de los cuales 4 cumplen con el DBO-total. Se carece de información de los 32 sistemas son operados por municipalidades y ASADAS (Mora-Alvarado *et al*., 2016). Información del período comprendido entre el 1 de noviembre de 2012 al 31 de octubre de 2015, indica que los sistemas de tratamiento urbanos para abastecimiento tienen un promedio de 5,4% de tratamiento frente a 1,3% en sistemas rurales. Asimismo, los sistemas urbanos presentan 94% de instalaciones con desinfección frente a 38,8% en sistemas rurales (Mora-Alvarado *et al*., 2016). Dentro de los episodios de contaminación en el país se han presentado casos de contaminación química antrópica (especialmente con hidrocarburos) y contaminaciones químicas naturales (especialmente arsénico). Un listado de la ocurrencia de estos incidentes se encuentra en Mora-Alvarado *et al*. (2016).

4.6 Inversión en programas de calidad de agua

Desde hace más de 90 años, el saneamiento básico ha logrado separar la materia fecal del contacto directo con las personas. Sin embargo, aunque el sistema básico ha llegado a tasas de 97% en 2017, alrededor de 70% está cubierto con tanques sépticos que en muchos casos son inadecuados para algunas regiones y producen un gran riesgo de contaminación de aguas superficiales y mantos subterráneos (AyA, 2017a). Como resultado, muchos ríos y arroyos arrastran aguas jabonosas o negras, producto de la deposición directa de casas cercanas o del mal drenaje de los tanques sépticos (AyA, 2017a).

En Costa Rica, el saneamiento de las aguas residuales y la ejecución de proyectos es responsabilidad de los operadores: AyA, ESPH, ASADAS y municipalidades. Sin embargo, dados los altos costos del diseño e inversión de la infraestructura de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales, éstos deben ser cubiertos por el presupuesto del Estado central; el costo del mantenimiento y operación de estos sistemas son cubiertos por la tarifa establecida a los usuarios (AyA, 2017a). Por eso, el país creó un Plan Nacional de Inversiones a corto y mediano plazos, como respuesta a la Política Pública de Saneamiento de Aguas Residuales, que permitirá desarrollar los proyectos de mejora y nuevos sistemas necesarios. *"El AyA tiene casi ocho años de invertir en el mejoramiento ambiental de los cantones del Gran Área Metropolitana, mediante un préstamo de más de $300 millones del gobierno central, el Banco Japonés y el Banco Interamericano de Desarrollo"* (AyA, 2017a). Las metas son las siguientes: para 2036 se espera tener cubierto el alcantarillado sanitario urbano y el tratamiento de aguas residuales en ciudades prioritarias; para 2045, el saneamiento rural y tratamiento de aguas residuales en el resto del área urbana (AyA, 2017a). A 2030 se espera invertir $1082 millones para beneficiar más de 580 000 personas del Gran Área Metropolitana, $127 millones se invertirán en la región turística costera, beneficiando a más de 69 000 personas, y para arreglos en los sistemas actuales se invertirán $435 millones para beneficiar a más de 235 000 personas (AyA, 2017a). La totalidad del plan nacional de inversión a 2045 sumará $6224 millones, incluyendo $3654 millones en el tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas y $2569 millones en la expansión y habilitación del saneamiento de aguas residuales en zona rural (AyA, 2017a).

5. Enfrentando los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos)

5.1 Cumplimiento de los ODS

Costa Rica ha hecho esfuerzos importantes no sólo para cumplir con los Objetivos del Milenio (ODM), sino también con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). El Objetivo 6, con sus metas 6.1 y 6.2, se refiere al servicio de abastecimiento de agua pota-

ble, el saneamiento y la higiene, siendo mucho más precisas y con mayores variables las metas de los ODS. Las metas de los ODS promueven un acceso universal y equitativo para todos, promoviendo la eliminación de las desigualdades en los niveles de servicio. Además, se incluye la higiene, que no había sido considerada en los ODM y se conceptualiza el servicio de abastecimiento de agua potable como agua segura y asequible y al saneamiento como adecuada, eliminando la defecación al aire libre y poniendo especial atención a las necesidades de las mujeres y niñas y de las personas en situación de vulnerabilidad.

Los procesos y sistemas para monitorear y revisar la tendencia del ODS6 están siendo coordinados por la Secretaría de Planificación Sectorial de Ambiente, en la que el Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) dan los insumos. Esta Secretaría cuenta con el apoyo técnico de la Dirección de Aguas del MINAE, el Ministerio de Salud, el AyA y el Comité Técnico Interinstitucional compuesto por el MINAE, el AyA y el SENARA.

5.2 Abastecimiento de agua para consumo humano

En Costa Rica se ha definido el agua para consumo humano como el uso prioritario entre los demás usos, además de que se ha reconocido el acceso al agua potable y al saneamiento como un Derecho Humano Fundamental, de acuerdo con lo aprobado por las Naciones Unidas en 2010. Desde 1961 se conceptualizaron y enmarcaron en diversas leyes y, sobre todo, en la constitución del AyA, el servicio de abastecimiento de agua como un servicio público, no privado, y delegándole a esa institución la competencia y responsabilidad de "proveer a los habitantes de la república de un servicio de agua potable, recolección y evacuación de aguas negras y residuos industriales líquidos". Esa misión la complementa para toda la población nacional con el quehacer de las ASADAS, la ESPH y las Municipalidades.

La Ley constitutiva del AyA deja claro que para "la fijación de tarifas se deberán aplicar criterios de justicia social distributiva, que tomen en cuenta los estratos sociales y la zona a que pertenecen los usuarios, de manera que los que tienen mayor capacidad de pago subvencionen a los de menor capacidad". Además, el servicio debe ser al costo por medio de una tarifa accesible para las familias.

Este modelo de servicio público implementado en Costa Rica logró la universalización de los servicios de abastecimiento de agua, pasando de una cobertura de 70% en el año 2000 a 94,5% en 2017, donde el AyA cubre 47%, las ASADAS 29%, las Municipalidades 14%, la ESPH 5% y otros 5%. La cobertura intradomiciliaria es de 97,6%, correspondiendo a 91,8% de la población la que recibe agua totalmente segura, agua potable, libre de microorganismos y de elementos químicos peligrosos (AyA, 2018).

El servicio de abastecimiento de agua en Costa Rica es en general un servicio de alta cobertura, continuo y equitativo. Con el fin de asegurar este modelo de gestión de los servicios públicos de abastecimiento de agua, se construyó y lanzó la Política Nacional para el Subsector de Agua Potable 2017-2030 (AyA *et al*., 2018), con el objetivo de *"procurar el acceso al agua potable por medio de la protección del recurso hídrico y el fortalecimiento de las capacidades de los actores relacionados con la prestación del servicio, para contribuir a la salud, bienestar y desarrollo del país"*. Los ejes estratégicos de esta Política son: Cultura del agua, Gobernabilidad del sector de agua potable, Inversión en infraestructura y servicio y Gestión ambiental en el sector de agua potable. Se cuenta, además, con un Programa Nacional de Mejoramiento de la Calidad de los Servicios de Agua Potable 2017-2030 (AyA/MINAE/MS, 2018).

5.3 Saneamiento básico

En lo que respecta a saneamiento básico, se impulsó en el país mediante la Ley General de Salud del año 1973. Para el año 2017, 70% de la población contaba con tanque séptico, 14,4% con alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales, 13,4% con alcantarillado sanitario sin planta de tratamiento, 1,6% con letrina y apenas 0,5% sin sanitario. Esto significa que el país ha alcanzado el Objetivo 6 de los ODS, donde casi es nula la proporción de personas que realizan sus deposiciones "a cielo abierto" (AyA/MINAE/MS, 2016).

Adicionalmente, con el fin de impulsar el saneamiento avanzado para aquellas ciudades importantes y zonas costeras del país con alta visitación turística, se construyó de forma participativa la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Resi-

duales (AyA/MINAE/MS, 2016) que cuenta con cinco ejes de acción: 1. Fortalecimiento institucional y normativo, 2. Gestión integrada para el saneamiento, 3. Infraestructura e inversiones, 4. Sostenibilidad financiera y modelo tarifario y 5. Participación ciudadana. Esta política se complementa con el Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento para el período 2017-2045, donde se calcula una inversión de $6.224.000.000 con la finalidad de captar y tratar las aguas residuales de ciudades por medio del alcantarillado sanitario y planta de tratamiento y las de las zonas rurales por medio de tanques sépticos u otro tipo de tecnología alternativa.

Asimismo, las Asociaciones Comunales de abastecimiento de agua y saneamiento son organizaciones oficiales, que tienen la delegación del AyA para brindar estos servicios. Con el fin de fortalecer estas organizaciones se lanzó la Política de Organización y Fortalecimiento de la Gestión Comunitaria de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento que cuenta con un instrumento unificado digital (Sistema de Apoyo a la Gestión de ASADAS-SAGA) que está levantando la información del estado de los acueductos de las ASADAS, así como del riesgo de los sistemas y de las fuentes aprovechadas. Se están fortaleciendo las capacidades de las ASADAS a través del Plan Nacional de Capacitación Continua.

La Gestión Integrada del Recurso Hídrico se plasma, además, en la Política Hídrica Nacional y la Estrategia Hídrica Nacional, lanzadas en 2009, las cuales se derivan de la Constitución Política donde se señala que *"el Estado procurará el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza"* y donde *"toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado".* Le corresponde al Ministro de Ambiente y Energía la rectoría política y el liderazgo de los recursos hídricos.

5.4 Marco jurídico

Por lo que respecta al marco jurídico-normativo general para la gestión integrada del agua y la acción intersectorial en Costa Rica, hay más de 15 organizaciones entre Ministerios, Instituciones Autónomas y Gobiernos Locales con competencia en el Recurso Hídrico. De esa forma, hay una Ley de Aguas que data de 1942 y más de 100 instrumentos entre otras leyes y decretos que rigen el agua en Costa Rica. Es por ello que, desde el año 2001 hasta el presente, se ha impulsado un proyecto de Ley para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, una propuesta de ley integradora y con definición clara de las competencias. Dicho proyecto de ley sigue en el Congreso Nacional sin aprobación.

El agua se define como un bien de dominio público, un bien inalienable, el cual debe ser manejado de forma sostenible considerando el ciclo hidrológico e hidrosocial. Le corresponde al Estado autorizar a través de concesiones o autorizaciones el aprovechamiento del agua, el cual se cobra a través del Canon de Aprovechamiento Ambientalmente Ajustado según la fuente superficial o subterránea, de acuerdo con el volumen y el tipo de uso: comercial, industrial, turístico, riego, consumo humano, hidroeléctrico. Se cuenta, además, con un Canon de Vertidos el cual se calcula en función del volumen y de la carga contaminante descargada al cuerpo de agua superficial.

Para los ecosistemas de humedal se cuenta con una Política Nacional de Humedales 2017-2030, con el objetivo de gestionar integralmente los ecosistemas de humedal de Costa Rica, con el fin de contribuir al desarrollo nacional. Un 7% del territorio nacional está representado por ecosistemas de humedal (Mora-Rodríguez, 2017).

Tres de las instituciones del país con competencia en el recurso hídrico conforman el Comité Técnico Institucional (CTI), el cual lleva adelante estudios hidrogeológicos y monitoreos de los acuíferos del país. Esto con el fin de contar con los balances hídricos y saber con certeza científica los volúmenes permisibles a explotar, asegurando de esta forma el manejo sostenible de los cuerpos de agua subterráneos.

Sin duda, en Costa Rica se ha avanzado en el cumplimiento de los ODS, pero queda pendiente mejorar los indicadores relativos al saneamiento. Las grandes brechas para mantener y aún mejorar el ODS 6, son las de invertir en sistemas de tratamiento y potabilización de aguas con elementos químicos para el consumo humano, la protección de fuentes de agua, la gestión sostenible de cuencas hidrográficas bajo procesos participativos y continuar invirtiendo en la recolección y el tratamiento de aguas residuales.

6. Problemas recurrentes y experiencias exitosas en el mejoramiento de la calidad de agua

Caso 1. Manejo sostenible del acuífero Nimboyores, Santa Cruz, Guanacaste

Por: M.Sc. Yamileth Astorga Espeleta

A partir de una crisis generada por un proyecto que pretendía captar agua del acuífero Nimboyores para abastecer las zonas costeras, surge la necesidad de promover un proceso participativo de diversos actores socio-institucionales estratégicos para asegurar un manejo sostenible del agua subterránea en la zona de Nimboyores. Este proceso fue coordinado por las instituciones competentes en el manejo del recurso hídrico, tales como el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), la Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), apoyado por el Ministerio de Salud (MS), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Instituto de Desarrollo Rural (INDER), las Asociaciones de Acueductos Comunales (ASADAS), las Asociaciones de Desarrollo Integral, el Gobierno local, la academia (Universidad Nacional) y el sector privado.

El primer esfuerzo que se realizó fue el de ganarse la confianza de los diversos actores e invitarlos a ser parte de un proceso participativo, dado que la imagen de la institucionalidad pública ha estado, por diversas razones, muy desprestigiada. Por ello, se propuso trabajar juntos en diversos frentes de acción, como la realización de mediciones y el monitoreo del estado del acuífero, el análisis de los datos del balance hídrico, el desarrollo de un plan de manejo sostenible del acuífero y la conceptualización de un proyecto de infraestructura para el abastecimiento de agua a diversas comunidades. Este esfuerzo culmina con la consolidación de una organización denominada "Comisión para el Manejo Sostenible del Acuífero Nimboyores y Acuíferos costeros de Santa Cruz (CONIMBOCO)", la cual se formaliza por el Decreto Ejecutivo No. 41094-MINAE.

En dicha experiencia, el AyA firma el primer convenio público-comunitario con las ASADAS de la zona costera de Santa Cruz, donde el AyA construye el acueducto aprovechando el agua del acuífero Nimboyores y la conduce a 16 comunidades abastecidas todas por 14 ASADAS. El agua se entrega a cada ASADA por medio de un macromedidor y se cobra con una nueva tarifa definida por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), denominada agua en bloque, la cual se calcula partiendo del costo medio del servicio prestado por cada operador y siempre permitiendo la sostenibilidad económica de cada ASADA. El compromiso de cada una de las ASADAS es asegurar un servicio eficiente y con calidad.

La CONIMBOCO tiene como fin recuperar los acuíferos costeros que han tenido procesos de salinización, disminuyendo o eliminando la extracción de sus aguas y consumiendo agua del acuífero Nimboyores, un acuífero no costero. Además, esta instancia inter-organizacional se encarga de implementar el plan de manejo del acuífero Nimboyores donde se limite la extracción de agua al caudal establecido por el estudio del balance hídrico y permitiendo 60% de reserva de agua en el acuífero, y controlando el uso del suelo de aquellas zonas con mayor recarga de aguas. De esta forma, se asegura la cantidad y calidad del agua del acuífero.

Caso 2. Gestión Integrada del Recurso Hídrico a nivel de la Microcuenca del Río Purires, El Guarco, Cartago

Por: M.Sc. Yamileth Astorga Espeleta

La Universidad de Costa Rica promovió el Proyecto Diálogo de saberes para la apropiación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, como una estrategia para la sostenibilidad del agua a nivel de la Microcuenca hidrográfica del Río Purires, Cartago, Costa Rica. Esta iniciativa tuvo como objetivo el contribuir con la apropiación colectiva de la gestión integrada del recurso hídrico como estrategia integradora de actores y comunidades en función de la microcuenca del Río Purires, a través de un proceso de intercambio de saberes, experiencias y prácticas de uso y manejo sustentable del agua.

Este proyecto es la continuación de un proceso previo, en el cual se parte de un mapeo de actores estratégicos en la microcuenca y la promoción y consolidación de una plataforma, con representa-

ción de actores locales, organizaciones comunales, instituciones públicas del estado costarricense y el Gobierno local. El proyecto incorpora el fortalecimiento de las capacidades organizativas y de gestión integrada del recurso hídrico de la Comisión para la Microcuenca del Río Purires (ComPurires), culminando ésta en una Asociación formalmente constituida con personería jurídica que se propone liderar y mantener el proceso de gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca.

El proyecto incluyó, además, la evaluación de la vulnerabilidad del recurso hídrico en las zonas de producción, en fuentes aprovechadas y de descarga de aguas residuales de diversos usuarios, como las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueducto y Alcantarillados Rurales (ASADAS), usuarios domiciliarios, agropecuarios y, en general, del ecosistema del Río Purires y sus principales afluentes en la microcuenca del Río Purires, con la participación activa de los miembros de la ComPurires.

Se logró que los actores locales de la Comisión, estudiantes de primaria y secundaria, se capacitaran en la toma de muestras de agua del río para la evaluación de la calidad físico-química y de muestras de macroinvertebrados para la evaluación por medio de indicadores biológicos de la calidad del ecosistema acuático. Para esto también generaron mapas, guías y otro material educativo para el mantenimiento del monitoreo de la calidad del agua de la microcuenca.

El proyecto incorporó además un monitoreo continuo por cerca de 7 años en 6 puntos a lo largo del cauce de la microcuenca, siguiendo lo establecido en el Reglamento de Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, Decreto Ejecutivo N° 33903. Dos veces al año tomaron muestras para el análisis de la calidad físico-química del agua y se aplicó el Índice de Calidad de Aguas (ICA) que incorpora porcentaje de saturación de oxígeno, la Demanda Bioquímica de Oxígeno y el Nitrógeno Amoniacal, además de otros parámetros físico-químicos. Adicionalmente, se tomaron muestras de macroinvertebrados para aplicar el índice biológico BMWP-CR.

Con el fin de disminuir la vulnerabilidad del recurso hídrico de la microcuenca, se implementaron estrategias de solución, tales como la instalación de colectores para la cosecha de lluvia en centros educativos, biojardineras y biodigestores para el tratamiento de las aguas residuales, producción de abono orgánico con los desechos de la producción agrícola, reforestación en las zonas de recarga de agua y zonas de protección ribereña, recolección de residuos sólidos en el cauce del río, educación ambiental, ferias educativas y aplicación al Galardón Bandera Azul Ecológica V Categoría de Microcuencas Hidrográficas.

Caso 3. Los problemas hídricos que afectan la Cuenca del Río Grande de Tárcoles: Búsqueda de soluciones

M.Sc. Édgar Meléndez

La Cuenca del Río Grande de Tárcoles (RGT) abarca cinco de las siete provincias del territorio nacional, incluyendo en la parte alta a la Gran Área Metropolitana (GAM). El RGT desemboca en el Océano Pacífico y se ha considerado el más contaminado de América Central (Estado de la Nación, 2017).

En el Programa de Manejo de la Cuenca del RGT, realizado por la consultora Abt Associates Inc. en 1999 (Abt Associates Inc. *et al*., 1999), se determina que *"esa Cuenca ha entrado en una espiral de degradación que amenaza no sólo la sostenibilidad de los recursos naturales en ella presentes sino, además, la calidad de vida de sus pobladores y la de las futuras generaciones, siendo causas lógicas de esa problemática la urbanización rápida y desordenada así como la apertura de zonas con fines agrícolas e industriales que están a la base de la deforestación y pérdida de cobertura vegetal, que genera la reducción de infiltración aumentando la escorrentía, el peligro de inundaciones y el arrastre de sedimentos. Manifiesta que los afluentes [sic] líquidos del alcantarillado sanitario son vertidos directamente al río sin ningún tratamiento pues sólo el 45% de la población de la Cuenca cuenta con alcantarillado sin tratamiento lo cual genera deterioro en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la Cuenca, creando condiciones insalubres y contaminación en las fuentes de agua. Indica que ese problema es consecuencia del crecimiento no planificado, la deforestación, la falta de previsión de los impactos del uso urbano y el desconocimiento de la capacidad del sistema del alcantarillado pluvial".*

A partir de la Resolución de la (Corte) Sala Constitucional, Voto 5894-2007 del 27 de abril del 2007, se ordena que inmediatamente se *"adopten las acciones necesarias para eliminar de manera integral los focos de contaminación que existen a lo largo de la cuenca del Río Grande de Tárcoles".* Cumplir este mandato requiere de esfuerzos mancomunados de un significativo número de actores, tanto en el sector público como privado, voluntades conjuntas conscientes de la gravedad del problema y de la continuidad de acciones a largo plazo. Se deben iniciar procesos de reversión y reparación de los daños ocasionados a la Cuenca, por medio de una gestión ambiental integral que establezca énfasis en aspectos participativos y de sostenibilidad. Desde esa perspectiva, la Gestión Integral de la Cuenca del RGT debe enmarcarse en la integralidad, al menos en dos sentidos: 1) abarcar la totalidad geográfica de la Cuenca, esto es, los 37 cantones; 2) una Gestión Integral que contemple la inclusión de todos los factores antrópicos generadores de cambios o perturbaciones sobre el ambiente natural, positiva o negativamente.

Determinada la excesiva contaminación que afecta al río, consecuencia directa del indebido tratamiento de residuos sólidos y líquidos, se hace indispensable e improrrogable la aplicación perentoria de todas las medidas correctivas que contemplan leyes y decretos vigentes. El método más obvio para la solución al problema es la Gestión Integral de Residuos (GIR). La Ley 8839 de GIR, en su Artículo 6, define su naturaleza como *"conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final".* La GIR significa que la integración geográfica con sus actores y, además, los usos diferentes del factor hídrico deben ser considerados con una visión de conjunto, porque son interdependientes. Según lo apuntado, la administración del recurso hídrico requerirá de mucho tiempo para reducir las causas de la grave contaminación que afecta al río y sus afluentes. Aún existen condiciones para iniciar procesos de reversión y reparación de los daños ocasionados a la Cuenca, con una gestión ambiental integral que establezca énfasis en aspectos participativos y de sostenibilidad, gestión que se circunscribe, esencialmente, al ámbito municipal en cuanto a residuos sólidos.

En lo que respecta a la generación de aguas servidas que afectan a la Cuenca del RGT, sobresalen en la Gran Área Metropolitana (GAM) los alcantarillados de San José, Heredia y Alajuela, cuyos sistemas únicamente recolectan las aguas negras y, en la práctica, disponen los efluentes sin tratamiento en los ríos de la cuenca. Conviene destacar que la Planta de Tratamiento del AyA de Aguas Residuales Los Tajos, al Oeste de San José, es de tipo primario con tratamiento completo de lodos. La reciente operación de esta planta reducirá, en parte, la elevada tasa de contaminación existente y el deterioro de recurso hídrico de la Cuenca del RGT.

Entre las recomendaciones propuestas para la solución del problema se pueden mencionar: 1) Los Planes de GIR en el ámbito municipal tendrán éxito si estos gobiernos locales dan fiel y pronto cumplimiento –entre otras– a las obligaciones que establece el Artículo 8 de la Ley para La Gestión Integral de Residuos; 2) Conviene investigar si mediante contratos de concesión de obra pública, pueden ser construidos sistemas de alcantarillados y de tratamiento de aguas residuales. Los costos de tales obras deben ser vistos como inversiones y no como simples gastos porque desde una perspectiva económica, con el cobro de tarifas por los servicios prestados, el resarcimiento es seguro; 3) Es importante el llamado a la conciencia para reflexionar acerca del inminente problema de contaminación de las aguas, que nos agobia hoy y que podría traer graves consecuencias a las próximas generaciones.

7. Conclusiones y recomendaciones

Históricamente, Costa Rica ha logrado avances significativos relacionados con el abastecimiento de agua potable, en menor grado con la disposición de excretas y sólo hasta los últimos años ha logrado avanzar un poco en el campo del tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, queda mucho por hacer. Es evidente que uno de los problemas es el costo de la inversión en la infraestructura necesaria para tratar las aguas, pero también existe poca conciencia ambiental de cierta parte de la población. Aunque en los últimos años muchos hemos aprendido a valorar más el agua potable y evitar el des-

perdicio de agua limpia, usualmente nos despreocupamos acerca de qué sucede con el agua residual, por lo cual todavía existe gran cantidad de contaminación por residuos sólidos y líquidos en los ríos (especialmente grave en las cuencas urbanas). La toma de consciencia puede venir de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en los comités comunales alrededor de las cuencas, en donde se aborden los problemas de una determinada región. Es necesario crear más de estos comités alrededor del territorio nacional y fortalecer los existentes.

El país requiere más investigación en el tema de calidad del agua superficial y subterránea, por lo que se deben fortalecer los estudios enfocados en el monitoreo de la calidad del agua, para lo cual los ríos y los acuíferos deben instrumentarse con dispositivos para medir niveles de agua y conductividad eléctrica, coliformes fecales y nitratos como indicadores de la contaminación antrópica.

Las instituciones del sector hídrico nacional deben unir esfuerzos para realizar estudios en zonas en donde ha ido creciendo la demanda y/o se prevé que ocurra en el futuro; además se deben fortalecer las investigaciones en temas aplicados a la caracterización físico-química del agua y establecer planes preventivos de la contaminación.

Es necesaria una Ley de Aguas moderna que se adecúe a las necesidades de manejo y utilización responsable actual del recurso hídrico. Nueva legislación debería darle una mayor importancia al recurso y garantizar su abastecimiento, protección y calidad. Pero una ley por sí sola no es suficiente para garantizar un cambio significativo en la gestión del recurso hídrico, ya que debe ir acompañada de los mecanismos y financiamiento adecuados para su puesta en marcha y fiscalización. Es necesario un cambio en la manera como se ha venido gestionando el recurso a través de los últimos años, especialmente con respecto a los horizontes de tiempo necesarios para una adecuada planificación. Los aumentos en la demanda, asociados con aspectos poblacionales, cambios en el uso para domicilios, industrias y agricultura, así como la variabilidad y el cambio climático, tienen el potencial de imponer restricciones y retos a la disponibilidad y calidad del recurso hídrico a corto, mediano y largo plazos. Existe también la necesidad de establecer un mecanismo efectivo para transferir la información técnica/científica a los tomadores de decisiones. Para esto se requiere que las universidades incluyan carreras de profesionales "gestores" que formen un enlace entre ambos ámbitos físicos y sociales. También es necesaria una coordinación efectiva entre las distintas instituciones relacionadas con el agua, especialmente importante a medida que el recurso se vuelva más escaso.

8. Referencias bibliográficas

Abt Associates Inc., CONCESA, CATIE, FUNDACIÓN NEOTRÓPICA (1999). *Programa de Manejo de la Cuenca del Río Grande de Tárcoles", Estudio de Factibilidad.* Diagnóstico Integrado. BID ATN/JF-5622-CR. San José, Costa Rica.

Acuña, J., Vargas, J., Gómez, E. & García, J. (2004). Hidrocarburos de petróleo disueltos y dispersos en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical,* 52 (Suppl. 2), 43–50.

Alpízar, M. & Vargas, I. (2017). *Caracterización hidrogeoquímica y determinación del origen del arsénico en aguas de consumo humano en sitios seleccionados de Costa Rica.* Informe final del proyecto 802-B3-515, Vicer. Investigación Universidad de Costa Rica. CICA-Escuela Centroamericana de Geología, San Pedro Montes de Oca, Costa Rica.

Araya, Á., Barboza, R., Ramírez, W. & Rodríguez, A. (2009). *Informe técnico sobre la inspección tramo fecal del Emisario de Limón.* San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Araya, M. (2018). *Mecanismos de movilización del arsénico hacia el agua subterránea, en la zona de Cañas, Guanacaste.* Tesis inédita. Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Posgrado en Geología. Universidad de Costa Rica.

Arellano, F. & Vargas, A. (2001). Casos de contaminación por intrusión salina en acuíferos costeros de la Península de Nicoya (Costa Rica). *Revista Geológica de América Central,* 25, 77–84.

Arias-Salguero, M.E. & Vargas, A. (2003). Geofísica aplicada al problema de la intrusión salina

en los acuíferos costeros de Costa Rica. In J.A. López-Geta, J. de Dios Gómez, J.A. de la Orden, G. Ramos & L. Rodríguez (Eds.), *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos,* pp. 163–167. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

AyA (2017a). *AyA invierte en Saneamiento de Aguas Residuales y Mejoramiento Ambiental.* Suplemento AyA, Junio de 2017. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Recuperado de: https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Suplemento%20Saneamiento%20y%20Mejoramiento%20Ambiental.pdf

AyA (2017b). *Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento 2017-2045.* Créditos: Y. Astorga Espeleta, J. Phillips Ávila, I. Sáenz Aguilar, A. Araya García, N. Aguilar Monge, D. Fernández. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Recuperado de: https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Plan%20Nacional%20de%20Inversiones%20en%20Saneamiento%20marzo%202017.pdf

AyA (2018). *Informe de Gestión de la Presidencia del AyA, 2014-2018.* Yamileth Astorga Espeleta, Directora Ejecutiva. Presidencia Ejecutiva. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Recuperado de: https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Informe%20final%20de%20Gesti%C3%B3n%20AyA%202014%202018.pdf

AyA, MINAE & MS. (2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045.* Primera edición. San José, Costa Rica. Recuperado de: https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Politica%20Nacional%20de%20Saneamiento%20en%20Aguas%20Residuales%20marzo%202017.pdf

AyA, MINAE & MS. (2018). *Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica 2017-2030*. Recuperado de: https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/AyA%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Agua%20Potable%20de%20Costa%20Rica%202017-2030.pdf

Barrantes, K., Chacón, L.M., Solano, M. & Achí, R. (2013). Contaminación fecal del agua superficial de la microcuenca del río Purires, Costa Rica. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología,* 33, 40–45.

Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2012). Contaminación fecal en varios ríos de la Gran Área Metropolitana y la Península de Osa. *Tecnología en Marcha,* 25 (4), 33–39.

Carazo-Rojas, E., Pérez-Rojas, G., Chinchilla-Soto, C., Chin-Pampillo J.S., Aguilar-Mora, P., Alpízar-Marín, M., Masís-Mora, M., Rodríguez-Rodríguez, C.E. & Vryzas, Z. (2018). Pesticide monitoring and ecotoxicological risk assessment in surface water bodies and sediments of a tropical agro-ecosystem. *Environmental Pollution,* 241, 800–809.

Castillo L.E., Ruepert, C. & Solis, E. (2000). Pesticide residues in the aquatic environment of banana plantation areas in the North Atlantic zone of Costa Rica. *Environmental Toxicology and Chemistry,* 19(8), 1942–1950.

Castillo, L.E., Ruepert, C., Ramírez, F., van Wedel, B., Bravo, V. & de la Cruz, E. (2012). *Plaguicidas y otros contaminantes, Informe Final.* Decimoctavo Informe del Estado de la Nación (2012). Recuperado de: http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/018/Castillo-L-et-al-2012-Plaguicidas-y-otros-contaminantes-1.pdf

Castillo, L.E., Martínez, E., Ruepert, C., Savage, C., Gilek, M., Pinnock, M. & Solis, E. (2006). Water quality and macroinvertebrate community response following pesticide applications in a banana plantation, Limón, Costa Rica. *Science of the Total Environment,* 367, 418–432.

Céspedes-Vargas, E., Umaña-Villalobos, E., & Silva-Benavides, A.M. (2016). Tolerancia de diez especies de diatomeas (*Bacillariophyceae*) a los factores físico-químicos del agua en el Río Sarapiquí, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical,* 64(1), 105–115.

Córdoba, J. (ed.) (2017). Agua Potable: un derecho a proteger. 27 de setiembre. Suplemento especial, *Semanario Universidad.* Recuperado de: https://www.aya.go.cr/ASADAS/informeseAqui/Suplemento%20Agua%20Potable%2028%20set.pdf

Echeverría-Sáenz, S., Mena, F., Pinnock, M., Ruepert, C., Solano, K., De la Cruz, E., Campos, B., Sánchez-Ávila, J., Lacorte, S. & Barata, C. (2012). Environmental hazards of pesticides from pineapple crop production in the Río Jiménez watershed (Caribbean Coast, Costa Rica). *Science of the Total Environment,* 440, 106–114.

Estado de la Nación (2017). *Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible.* Pavas, Costa Rica.: Programa Estado de la Nación. Recuperado de: www.estadonacion.or.cr

Fernández, L. & Springer, M. (2008). El efecto del beneficiado del café sobre los insectos acuáticos en tres ríos del Valle Central (Alajuela) de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical,* 56(Suppl 4), 237–256.

Gómez, A. & Arredondo, S. (1994). *Hidrología isotópica del Valle del río Tempisque, Provincia de Guanacaste, Costa Rica.* Comisión Internacional de Energía Atómica. ARCAL XIII Proyecto. Estudios hidrológicos e hidrogeológicos en América Latina sobre los recursos hídricos y la contaminación de las aguas subterráneas. SENARA, Costa Rica.

Guevara, D. & Herrera, J. (2014). *Informe sobre calidad de Aguas Superficiales.* San José.

Gutiérrez Wa-Chong, T. (2018). Río Torres entre los más sucios del mundo. *La República,* 26 de enero. Recuperado de: www.larepublica.net/noticia/rio-torres-entre-los-mas-sucios-del-mundo

Gutiérrez-Fonseca, P. & Lorion, C.M. (2014). Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: sensitivity to collection method and sampling intensity. *Revista de Biología Tropical,* 62(2), 275–289.

Guzmán, G. (2006). *Estudio de contaminación por hidrocarburos tipo BTEX, en el plantel de RECOPE, Moín, Limón.* Tesis inédita. Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos hídricos, Posgrado en Geología. Universidad de Costa Rica.

Herrera, J., Rodríguez, S., Rojas, J.F., Herrera, É. & Chaves, M. (2013). Variación temporal y espacial de la calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Virilla (Costa Rica) entre 2006 y 2010. *Revista de Ciencias Ambientales,* 45 (1), 51–62.

Hidalgo-León, H.G., Herrero-Madriz, C., Alfaro-Martínez, E.J., Muñoz, A.G., Mora-Sandí, N.P., Mora-Alvarado, D.A. & Chacón-Salazar, V.H. (2015). Las aguas urbanas en Costa Rica. In Interamerican Network of Academies of Sciences (Eds.), *Desafíos del agua urbana en las Américas,* pp. 208-233. México: IANAS y UNESCO. Recuperado de: http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/11370/Hidalgoetal2015LAUes.pdf?sequence=1&isAllowed=y

INEC (2013). *Mortalidad infantil y evolución reciente.* San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos, Boletín Anual, Vol. 2, Año 19. Recuperado de: http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/poblacion/mortalidad/publicaciones/repoblacev2013-01_0.pdf

INEC (2015). *Anuario Estadístico 2014-2015, compendio de datos país.* San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de: http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documetos-biblioteca-virtual/reanuario2014-2015.pdf

INEC *et al*. (2010). *Indicadores de Género y Salud, Costa Rica 2010.* San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de: https://www.paho.org/cor/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=genero-y-salud&alias=199-indicadores-de-genero-y-salud-costa-rica-2010&Itemid=222

Jones, J.R., Lohman, K. & Umaña, G. (1993). Water chemistry and trophic state of eight lakes in Costa Rica. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie,* 25(2), 899–905.

Kohlmann, B., Arroyo, A., Springer, M. & Vásquez, D. (2015). Agrorural ecosystem effects on the macroinvertebrate assemblages of a tropical river, chapter 12. In Y.-H. Lo, J.A. Blanco & S. Roy (Eds.). *Biodiversity in Ecosystems – Linking Structure and Function,* pp. 299-333. Intech. Recuperado de: http://www.intechopen.com/books/biodiversity-in-ecosystems-linking-structure-and-function

Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinsky, G., Stimson, J. & Bethune, D. (2001). *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central.* San Pedro Montes de Oca, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Mafla, M. (2005). *Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano, Talamanca - Costa Rica.* Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Mena-Rivera, L., Salgado-Silva, V., Benavides-Benavides, C., Coto-Campos, J.M. & Swinscoe, F.HA. (2017). Spatial and seasonal surface water quality assessment in a tropical urban catchment: Burío River, Costa Rica. *Water*, 9, 558, 2–12.

Michels, A., Umaña-Villalobos, G. & Raeder, U. (2006). Epilithic diatom assemblages in rivers draining into Golfo Dulce (Costa Rica) and their relationship to water chemistry, habitat characteristics and land use. *Archiv für Hydrobiologie* 165(2), 167-190.

Ministerio de Ambiente, Energía (MINAE) y Ministerio de Salud (S) (2006). Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, Decreto Ejecutivo No. 33601. *La Gaceta* No.55, Alcance 8. Recuperado de: http://www.regenciaquimica.ucr.ac.cr/sites/default/files/33601-s-minae.pdf

Ministerio de Ambiente, Energía (MINAE) y Ministerio de Salud (MS) (2007). Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales, Decreto Ejecutivo No. 33903. *La Gaceta* No.178. Recuperado de: https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Reglamento%20evaluación%20y%20clasificación%20de%20calidad%20de%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.pdf

Ministerio de Salud (MS) (2011). *Análisis y determinantes sociales de la situación de salud. Memoria institucional,* pp. 26–84. Gobierno de Costa Rica. Recuperado de: https://www.ministeriodesalud.go.cr/sobre_ministerio/memorias/memoria2012/UMI_analisis_determinantes_sociales_2011.pdf

Ministerio de Salud (MS) (2016). *Boletín Estadístico de Mortalidad por Enfermedades de Declaración Obligatoria del año 2015.* Gobierno de Costa Rica. Recuperado de: https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/vigilancia-de-la-salud/indicadores-de-salud-boletines/boletin-mortalidad/3173-boletin-de-mortalidad-por-enfermedades-de-declaracion-obligatoria-2015/file

Ministerio de Salud (MS) (2018). *Boletín Epidemiológico* No 16-2018. Enfermedades transmitidas por vectores. Gobierno de Costa Rica. Recuperado de: https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/vigilancia-de-la-salud/boletines

Mollinedo, N. (2013). *Investigación hidrogeológica para determinar el origen del arsénico en aguas para consumo humano en la región noroeste de Aguas Zarcas, San Carlos, Alajuela, Costa Rica.* Tesis de la Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Posgrado en Geología. Universidad de Costa Rica.

Montero Mora, A. & Sandi Morales, J.A. (2009). La contaminación de las aguas mieles en Costa Rica: un conflicto de contenido ambiental (1840–1910). *Diálogos, Revista Electrónica de Historia,* 10 (1), 1–15.

Mora-Alvarado, D. (1992). Evolución y expectativas de la contaminación de la cuenca Virilla-Tárcoles. *Revista Costarricense de Salud Pública,* 2, 18–23.

Mora-Alvarado, D. (2004). Calidad microbiológica de las aguas superficiales de Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública,* 13 (24), 15–31.

Mora-Alvarado, D. (2011). *Informe: acciones correctivas para disminuir las concentraciones de arsénico en el acueducto de la comunidad de Cañas.* Laboratorio Nacional de Aguas, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Mora-Alvarado, D.A., Mata-Solano, A. & Portuguez-Barquero, C.F. (2016). *Agua para consumo humano y saneamiento y su relación con los indicadores básicos de salud en Costa Rica: Objetivos de Desarrollo del Milenio y la agenda para el 2030.* Acueductos y Alcantarillados. Gobierno de Costa Rica.

Mora-Alvarado, D.A. & Portuguez-Barquero, C.F. (2016). Cobertura de la disposición de excretas en Costa Rica para el periodo 2000–2014 y expectativas en el 2021. *Tecnología en Marcha,* 29 (2), 43–62.

Mora-Alvarado, D. & Portuguez, C.F. (2010). *Evolución de las coberturas y calidad del agua para consumo humano y disposición de aguas residuales domésticas en Costa Rica al año 2009.* Laboratorio Nacional de Aguas, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Mora-Alvarado, D., Portuguez, C.F. & Brenes, G. (2002). Evaluación de la contaminación fecal de la cuenca del río Tempisque 1997-2000. *Revista Costarricense de Salud Pública,* 11(20), 5–17.

Mora Rodríguez, F. (coordinador) (2017). *Política Nacional de Humedales 2017-2030.* Viceministerio de Agua, Mares, Costas y Humedales. San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía. Recuperado de: http://www.minae.go.cr/recursos/2017/pdf/consulta-linea-politica-nacional-humedal.pdf

O´neal Coto, K. (2017). UCR advirtió presencia de plaguicida usado en piña en Humedal Térraba-Sierpe. *Semanario Universidad,* 15 de mayo.

Recuperado de: https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/05/15.html

O´neal Coto, K. (2018). UCR detecta residuos de plaguicidas en fuentes de agua en la Zona Norte. *Semanario Universidad,* 14 de junio. Recuperado de: www.ucr.ac.cr/noticias/2018/06/14.html

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2000). *Global Water Supply and Sanitation Assessment. World Health Organization.* Geneva. Recuperado de: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf

Pérez-Castillo, A.G., Barboza-Mora, R. & Ramos-Matarrita, F. (2013). Calidad del agua del Refugio Mata Redonda y los arrozales colindantes, Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana,* 24(2), 379–392.

Picado Twight, C. (1915). *Análisis sanitario de las aguas que se consumen en San José.* En colaboración con F. Sancho. San José, Costa Rica: Imprenta Alcina.

PND (2014). *Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 "Alberto Cañas Escalante".* San José, Costa Rica: Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. Gobierno de Costa Rica. Recuperado de: http://www.infoagro.go.cr/Documents/PND%202015-2018%20Alberto%20Ca%C3%B1as%20Escalante%20WEB.pdf

Ramos, V., Corrales, C., Zuñiga, M., Alpízar, M., Vargas, I., Ramírez, R. & Barrantes, A. (2014). Investigación geológica hidrogeológica, e hidrogeoquímica sobre el origen del arsénico en la zona de Cañas-Bagaces y alrededores. Comisión Científica del origen del arsénico. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), Escuela Centroamericana de Geología, Centro de Investigaciones en Contaminación Ambiental (CICA), Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), Dirección de Aguas (DA-MINAE). Informe interno.

Rasmussen, J.J., Reiler, E.M., Carazo, E., Matarrita, J., Muñoz, A., & Cedergreenb, N. (2016). Influence of rice field agrochemicals on the ecological status of a tropical stream. *Science of the Total Environment,* 542 (Part A) 15, 12–21.

Reynolds, J., Fraile Marino, J. & Hirata, R. (2006). *Tendencias en las concentraciones de nitratos y determinación de sus orígenes usando isótopos estables (18O y 15N) en el agua subterránea de la parte oeste del Valle Central, Costa Rica.* Universidad Nacional: Heredia. Recuperado de: http://www.observatorioambiental.una.ac.cr/index.php/indicadores-ambientales/115-tendencias-en-concentraciones-de-nitratos-y-determinacion-de-sus-origenes-usando-isotopos-estables-18o-y-15n-en-agua-subterranea-oeste-valle-central

Reynolds, K. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica.* Recuperado de: http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf

Rico M.N. (1998). *Las mujeres en los procesos asociados al agua en América Latina. Estado de situación, propuestas de investigación y de políticas.* 8th Stockholm Water Symposium. Workshop n°8: "Contributions of women in the field of water resources" efectuado del 8 al 12 de agosto de 1998. Estocolmo, Suecia. Recuperado de: https://www.cepal.org/publicaciones/xml/7/4337/indice.htm

Rizo-Patrón, F., Kumar, A., McCoy Colton, M., Springer, M. & Trama, F.A. (2013). Macroinvertebrate communities as bioindicators of water quality in conventional and organic irrigated rice fields in Guanacaste, Costa Rica. *Ecological Indicators,* 29, 68–78.

Ruepert, C. (2011). *Plaguicidas y otros contaminantes, Informe Final.* Decimoséptimo Informe del Estado de la Nación. Recuperado de: https://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/017/Ponencia-Clemens-Plaguicidas-y-otros-contaminantes.pdf

Ruepert, C., Castillo, L.E., Bravo, V. & Fallas, J. (2005). *Vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación por plaguicidas en Costa Rica. Estudio preliminar.* (Informe ejecutivo). Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional.

Sedeño-Días, J.E., Kohlmann, B. & López-López, E. (2012). Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality in streams of Costa Rica: using an adaptation of the BMWP Score. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research,* 14, 177–188.

SENARA-BGS (1985). *Mapa hidrogeológico del Valle Central, Costa Rica.* Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. Servicio Geológico Británico.

SENARA-BGS (1988). *Continuación de las investigaciones hidrogeológicas en el Valle Central de Costa Rica.* Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. Servicio Geológico Británico. Informe final.

Soto, M. (2012). Contaminación fecal y basura ahogan al río Torres. *La Nación,* 29 de diciembre. Recuperado de: https://www.nacion.com/archivo/contaminacion-fecal-y-basura-ahogan-al-rio-torres/4PS4YFA3FJCBXIFF2LDDZLLKFU/story/

Spongberg, S., Witter, J., Acuña, J., Vargas, J., Murillo, M., Umaña, G., Gómez, E. & Pérez, G. (2011). Reconnaissance of selected PPCP compounds in Costa Rican surface waters. *Water Research,* 45, 6709–6717.

Stein, H., Springer, M. & Kohlmann, B. (2008). Comparison of two sampling methods for biomonitoring using aquatic macroinvertebrates in the Dos Novillos Watershed, Costa Rica. Ecological Management and sustainable development in the humid tropics of Costa Rica. *Ecological Engineering,* 34(4), 267–275.

Svensson, O., Sanderson Bellamy, A., Van den Brink, P.J. & Gunnarsson, J.S. (2017). Assessing the ecological impact of banana farms on water quality using aquatic macroinvertebrate community composition. *Environmental Science and Pollution Research,* 25(14), 1–9.

Umaña-Villalobos, G. (2014). Ten years of limnological monitoring of a modified natural lake in the tropics: Cote Lake, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical,* 62(2), 567–578.

Umaña-Villalobos, G. & Farah-Pérez, A. (2018). Revisiting the limnology of Lake Río Cuarto, Costa Rica, thirty-five years later. *Revista de Biología Tropical,* 66(1), S42-S52.

Umaña, G., Haberyan, K.A. & Horn, S.P. (1999). Limnology in Costa Rica. In R.G. Wetzel & B. Gopal (Eds.), *Limnology in Developing Countries 2,* pp. 33-62. International Association of Theoretical and Applied Limnology (SIL). New Delhi: International Scientific Publications.

UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia) & OMS (Organización Mundial de la Salud) (2006). *Progreso para la Infancia: un balance sobre agua y saneamiento.* New York, USA.

Vargas Sanabria, A. (2001). El manejo histórico de los recursos hídricos en Costa Rica con énfasis en el período indígena y en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX. Anuario de Estudios Centroamericanos, 27(1), 59–81.

Vargas, I. (Ed.) (2015). *Manejo sostenible de la zona norte del acuífero Tempisque.* Informe final del Proyecto 802-BO-513 Vicerrectoría de Investigación. CICA, Escuela Centroamericana de Geología, SENARA, Costa Rica.

Vargas, I. (Ed.) (2017). *Propuesta del modelo hidrogeológico conceptual para la estimación de la disponibilidad de agua subterránea y análisis de la vulnerabilidad de los acuíferos en la zona oeste del Valle Central, cuenca del río Grande, Alajuela.* Informe final del Proyecto 113-B2-515 Vicerrectoría de Investigación. Escuela Centroamericana de Geología, CICA, SENARA, Costa Rica.

Cuba

El archipiélago **cubano** y su isla principal tienen ciertas particularidades para la gestión integral del agua: su extensión es alargada, estrecha, con una parte de agua central que determina la formación de numerosas y pequeñas cuencas superficiales. Además, su geología eminentemente cársica favorece vínculos muy dinámicos, en cantidad y calidad, entre las aguas superficiales y las subterráneas, y estas últimas con las aguas costeras. Su desarrollo económico, en el que predominan la actividad agropecuaria y los núcleos industriales de las principales ciudades, influye en el tipo y extensión del impacto negativo en la calidad de las aguas terrestres. La contaminación orgánica y microbiológica, la eutroficación, la nitrificación de acuíferos y la intrusión marina se identifican entre moderados y altos.

Valle de Viñales, Cuba © iStock

Calidad del agua en Cuba

Joaquín B. Gutiérrez Díaz y Jorge Mario García Fernández

1. Introducción general[1]

Cuba se ubica geográficamente entre los 19°49´y los 23°16´ de latitud norte y los 74°08´ y los 84°57´ de longitud oeste, lo que la ubica al norte del Mar Caribe y al sur del Trópico de Cáncer. Por su extensión superficial, la Isla de Cuba es considerada la mayor de las Antillas. La República de Cuba es un archipiélago formado por más de 1600 islas, islotes y cayos, con una superficie de 109 884,01 km^2, el área de tierra firme alcanza unos 106 757,60 km^2, mientras que la extensión de los cayos adyacentes se evalúa en 3 126,41 km^2. La Isla de Cuba es la mayor, con 107 465 km^2. La Isla de la Juventud constituye la segunda en extensión, con unos 2420 km^2.

En el año 2011 se estableció en Cuba una nueva División Político-Administrativa, quedando organizada en 15 provincias y 168 municipios, incluyendo a la Isla de la Juventud. Tiene una población residente que asciende a unos 11 239 000 habitantes, según datos del último censo de 2015. Su capital es La Habana, la de mayor población con 2 125 320 habitantes. Siguen en importancia las cabeceras provinciales y municipales.

Presenta una geología compleja, fundamentalmente en la Isla de Cuba, con rocas antiguas del jurásico y cretácico, sobre todo en las zonas montañosas, y del paleógeno al cuaternario en el resto del territorio. Predominan las rocas carbonatadas en más de 60% del territorio, influenciadas por la acción del clima y una topografía donde los accidentes cársicos son usuales. El relieve se destaca por su complejidad y diversidad, constituido por montañas, alturas y llanuras que representan las dos terceras partes del territorio.

En la mayor parte de Cuba, el clima predominante es del tipo cálido tropical, con estación lluviosa en el verano. En general, es aceptado expresar que el clima de Cuba es tropical, estacionalmente húmedo, con una influencia marítima y rasgos de semi-continentalidad.

1. Cf. *Anuario Estadístico de Cuba 2015* en ONEI, 2016.

Joaquín B. Gutiérrez Díaz joaquin.diaz@hidro.gob.cu Coordinador del capítulo, Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH)-INRH. **Jorge Mario García Fernández** jorgem@hidro.gob.cu Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH)-INRH.

2. Generalidades del ciclo hidrológico y de los recursos de agua

Para el caso cubano se requiere tener en cuenta algunas condiciones de partida o premisas que condicionan las estrategias a seguir para lograr el suministro seguro de la cantidad y calidad de agua para los diferentes usos, en el contexto de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH): (i) la vulnerabilidad propia de nuestra condición de archipiélago, (ii) la divisoria de aguas central a todo lo largo de la isla principal que delimita la formación de numerosas y pequeñas cuencas, y el predominio del carso en las formaciones acuíferas subterráneas, (iii) la dependencia de nuestros recursos de agua con el comportamiento de las precipitaciones, (iv) el desarrollo eminentemente agropecuario y predominio de la industria agroalimentaria, (v) el cambio climático y las medidas de adaptación y mitigación, y (vi) la variabilidad natural del clima.

Como sistema insular, el ciclo hidrológico está gobernado por las precipitaciones, las que constituyen la única fuente de agua renovable anual del archipiélago. Es un recurso estratégico limitado y finito, imprescindible para el desarrollo sostenible del país.

En el régimen hidrológico influyen significativamente la ubicación y las características físico-geográficas del archipiélago, con un relieve caracterizado por la sucesión de extensas llanuras y sistemas montañosos, que por su disposición se interponen al paso de las masas de aire húmedo y la apreciable acción reguladora del carso sobre el escurrimiento superficial, principalmente en las regiones Occidental y Central del país.

La temperatura media es de aproximadamente 25°C; en época de verano, durante el día, se pueden alcanzar valores mayores de 30°C, mientras que en invierno el tiempo refresca con un promedio cercano a los 21°C. La radiación solar es alta y se encuentra entre 5,16 - 5,96 kW/h/m^2, variando poco debido a la configuración alargada del territorio. Los mayores valores se registran en la región oriental del país. Las horas de sol diarias pueden alcanzar valores entre 10-12, de acuerdo con la época de año. Dadas estas condiciones, los rangos de evaporación media anual, desde una superficie libre, varían desde la región occidental a la oriental, siendo respectivamente de 1600 mm/año a 2400 mm/año

2.1 Cuencas hidrográficas y acuíferos subterráneos

La configuración del territorio, de forma alargada y estrecha, junto con la disposición y estructura del relieve, determinan la existencia de una divisoria de aguas central a lo largo de toda la isla principal en la dirección de su eje longitudinal, que define dos vertientes: la vertiente septentrional (norte) y la vertiente meridional (sur).

Si además se considera al régimen pluvial como el principal factor que determina el régimen del escurrimiento, así como la extraordinaria difusión e intensidad de los fenómenos cársicos presentes en el territorio cubano, se explica el predominio de cuencas colectoras relativamente pequeñas. En el archipiélago han sido reconocidas 642 cuencas superficiales mayores que 5 km^2, y de ellas 10 corresponden a cuencas cerradas o de drenaje interno (endorreicas).

Los acuíferos se encuentran generalmente localizados en formaciones cársicas y, en su mayoría, en relación hidráulica con el mar, por lo que existe la ocurrencia de fenómenos de intrusión salina, intensificados en ocasiones por la inadecuada explotación y administración de estas fuentes. Por lo expuesto anteriormente, existe también una intensa relación cuantitativa y cualitativa entre las aguas superficiales y los acuíferos, lo que da lugar a una recarga subterránea a través de sumideros, oquedades y otras vías.

2.2 Precipitaciones y recursos de agua disponibles

La lluvia es el elemento de mayor variabilidad, tanto espacial como estacional, en el clima de Cuba. Se reconocen dos estaciones bien definidas: lluviosa, de mayo a octubre donde ocurren 75-80% del total anual, y poco lluviosa o seca, de noviembre a abril, donde precipita el resto. Espacialmente se definen distintas regiones con condiciones desiguales de precipitación, como se expone en la **Figura 1.**

De acuerdo con estudios publicados en años anteriores (INRH, 2002), los Recursos Hídricos Potenciales (RHP) provenientes de las precipitaciones han sido evaluados en 38 100 millones de m^3; de ellos, 6 400 millones de m^3 subterráneos en 165 unidades hidrogeológicas y los restantes 31 700 millones de m^3 de aguas superficiales, localizados en 642 cuencas hidrográficas. La lámina media anual

Recuadro 1. Aprobada la Ley de Aguas Terrestres por la Asamblea Nacional del Poder Popular (ANPP) – Parlamento unicameral de Cuba.

En 2012 se aprobó la Política Nacional del Agua por el Consejo de Ministros, dando un marco adecuado para actualizar y jerarquizar los instrumentos legales vigentes. Previamente se desarrolló un amplio proceso de consulta por todos los actores sociales y ciudadanía en general, a través de reuniones, vía electrónica, talleres, medios de comunicación masiva y otros, la proposición de actualizar, extender, ampliar el alcance y jerarquización de las aguas terrestres para elevar su nivel jurídico a Ley de la Nación. Así, fue finalmente aprobada por el 9º Período de Sesiones de la VIII Legislatura de la ANPP, celebrado los días 13 y 14 de julio de 2017 (Ley No. 124 de 2017).

considerada fue de 1375 mm/año. Sin embargo, resultados del último estudio de la lluvia en Cuba, que abarca el período 1961-2000 (Servicio Hidrológico Nacional, 2006), indican que la lámina media anual de precipitaciones es de 1335 mm/año, menor que la anterior, por lo que estos recursos potenciales pudieran ser más bajos. Su actualización se incluye en las acciones vinculadas a la aprobación de la Política Nacional del Agua en diciembre de 2012 (INRH, 2012).

El Índice de Disponibilidad de agua a partir de los RHP –índice que depende de las precipitaciones y del número de habitantes– es aproximadamente de 3400 m^3 por habitante por año para todos los usos y se evalúa como bajo (entre 1000 y 5000 m^3 por habitante por año), ocupando el lugar 105 en una lista de 182 países (Allan, 1993).

El desarrollo de la infraestructura hidráulica ha permitido poner a la disposición de las demandas económicas, sociales y ambientales, alrededor de 57% de los RHP. Los Recursos Hidráulicos Disponibles (RHD), a partir de la infraestructura hidráulica creada, ascienden a 13 667 millones de m^3, de los cuales alrededor 9150 millones de m^3 son superficiales y, el resto, subterráneos. El Índice de Disponibilidad (promedio) real de agua por habitante por año para todos los usos, siempre referido a la infraestructura hidráulica construida, es aproximadamente de 1220 m^3 (INRH, 2002).

2.3 Uso del agua

El rector de las aguas terrestres en Cuba es el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), el cual, a través de un proceso riguroso y concertado con los principales usuarios, elabora el Plan del Uso del Agua para cada año, atendiendo al pronóstico de las disponibilidades del recurso. El Plan se desagrega por provincias, territorios y también por cuencas hidrográficas, y es un indicador directivo del Plan de la Economía nacional.

Hasta el año 2013, las demandas de agua por la economía mantenían una tendencia al alza y, luego de aprobada la Política Nacional del Agua en 2012, ha venido ocurriendo un proceso de ajuste y de cumplimiento de las normas de consumo, que hace que la cifra total para estos últimos años se encuentre alrededor de los 7000 millones de m^3.

Desde 2014 hasta 2017, la presencia de un evento intenso de sequía, con desfavorables manifestaciones hidrológicas incidió de manera negativa en las disponibilidades físicas de agua, tanto superficial como subterránea.

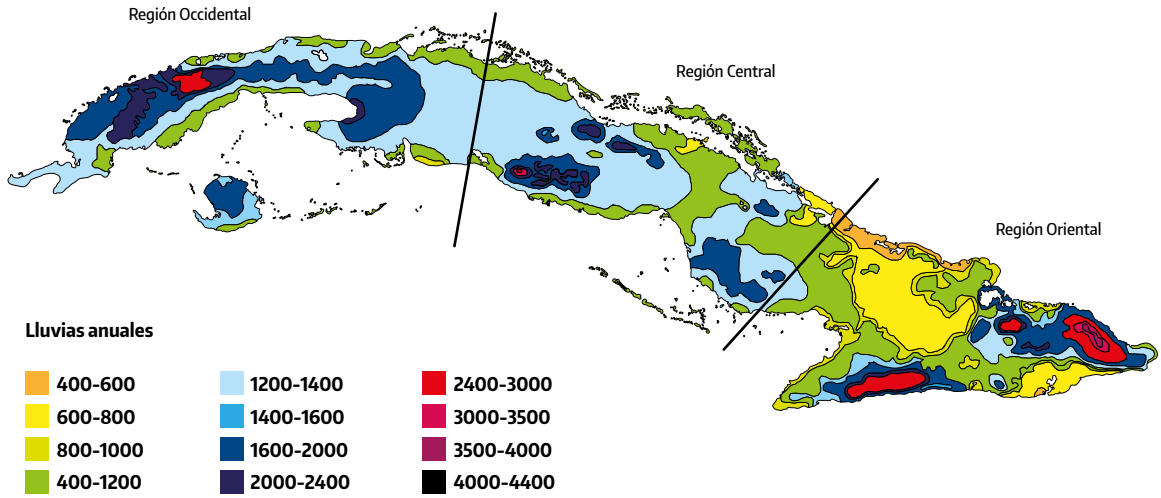
3. Autoridades y gobernabilidad

3.1 Gobernabilidad del agua y marco legal

La Constitución de la República de Cuba, en su Artículo 27, reconoce la estrecha vinculación del agua con el desarrollo económico y social sostenible del país, unido al deber de los ciudadanos de contribuir a su protección. Otros instrumentos legales complementan y amplían la base legal vigente en relación con el agua, como la Ley No. 81 de Medio Ambiente (1997). Desde 1993 hasta 2017 estuvo vigente el hoy ya derogado Decreto Ley No. 138 de las Aguas Terrestres.

El INRH, fundado en el año 1962, fue ratificado por el Decreto-Ley 114 (1989) y reafirmado más tarde por el Decreto-Ley 280 (2011), con el nivel de organismo de la Administración Central del Estado encargado de dirigir, ejecutar y controlar la aplicación de la política del Estado y el Gobierno relacionada con la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres, entendida como el proceso de evaluación, planificación, uso y protección coordinada de este elemento, la tierra y sus recursos, para maximizar el bienestar económico y social, sin comprometer la salud o conservación de los ecosistemas vitales.

Figura 1. Mapa Isoyético 1961-2000 (mm/año)



Fuente: Servicio Hidrológico Nacional, 2006.

Existe un sistema de Normas Cubanas que tienen estrecha relación con la evaluación de la calidad de las aguas terrestres para diferentes usos, que se han convertido de manera paulatina en importantes instrumentos legales para materializar lo contenido en la Constitución, leyes y decretos-leyes.

La antes referida Ley contiene 12 títulos, 36 capítulos, 17 secciones, 3 disposiciones y un total de 127 artículos (ANPP, 2016). En su contenido se incluyen artículos de estrecha vinculación con la protección de la calidad de las aguas terrestres; mantener su calidad; elaborar y perfeccionar las normas correspondientes según su uso o disposición; normar y controlar su uso y manejo; el vertimiento de residuales; la reutilización de las aguas; estimular el empleo de tecnologías de producción limpias; establecer zonas de protección alrededor de los cuerpos de agua, fuentes subterráneas y áreas de recarga que por su importancia así lo requieran y adoptar medidas para preservar los cauces de corrientes naturales, los lechos de lagos, lagunas y embalses contra los peligros del azolvamiento excesivo a causa de la erosión; y cualquier otra que contribuya a este objetivo.

3.2 Organización institucional

La estructura institucional existente para el ejercicio de los mecanismos de gobernabilidad del agua en Cuba se basa en el sistema del INRH y su quehacer está estrechamente vinculado con la autoridad ambiental (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, CITMA), de la salud pública (Ministerio de Salud Pública, MINSAP), con el Ministerio de la Agricultura (MINAG), el Instituto de Planificación Física (IPF), entre otras importantes instituciones e instancias, así como con los gobiernos provinciales y municipales del país.

El INRH cuenta con un sistema de Delegaciones provinciales, empresas nacionales y territoriales, y laboratorios, que ejecutan y controlan lo establecido en la Política Nacional del Agua, así como los objetivos e indicadores de desempeño anuales, que dan cumplimiento a su misión. A su vez, promueve, fomenta y controla con el resto de las instituciones e instancias, el cumplimiento de las responsabilidades relativas al uso racional y eficiente del agua, en función de su protección y buen manejo.

III.3. Relaciones con organizaciones no gubernamentales, universidades y otras instituciones

La organización institucional cubana rectora de las aguas terrestres, el INRH, se ha caracterizado desde sus inicios por establecer, desarrollar y promover estrechas relaciones y vínculos de trabajo con organizaciones no gubernamentales, sociedades científicas y técnicas, universidades, organizaciones de la sociedad civil, gobiernos territoriales,

tanto provinciales como municipales, entre otros.

Ha prevalecido el entendido de que el cumplimiento de la misión del Instituto, de asegurar la cantidad y calidad de agua para el desarrollo sostenible del país, requiere facilitar y potenciar la participación de todos los actores para alcanzar ese fin, sin sustituir responsabilidades específicas de cada institución, creando sinergias y espacios para la coordinación e integración.

De tal manera, en un proceso perfectible y que puede alcanzar mayores resultados, el INRH cuenta desde hace muchos años con programas de cooperación con la Universidad Técnica de La Habana (CUJAE), en particular con el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), que ha dado múltiples frutos en función de la gestión del agua; promueve, alienta y apoya desde los inicios de la década de los años 80, el fortalecimiento y desarrollo de las actividades de la Sociedad de Ingeniería Hidráulica (SIH) de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC); de igual manera, dirige y desarrolla acciones nacionales e internacionales a través del Comité Cubano del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI-UNESCO).

En el mismo sentido, amplía su colaboración en temas de capacitación con el sistema de universidades del país, que cuenta con la carrera de ingeniería hidráulica y otras afines a la gestión del agua, tales como la licenciatura en geografía, en química, biología, meteorología, por citar varias de las más importantes.

Su vínculo con otras organizaciones del sistema de Naciones Unidas es también amplio, entre ellas: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Fondo de Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

4. Principales problemas de calidad de las aguas terrestres

Desde un punto de vista general, el insuficiente número de sistemas de alcantarillado y tratamiento en las comunidades, ciudades y pueblos, así como la existencia de industrias sin el tratamiento adecuado de sus aguas residuales y otras causas, han provocado una situación en la cual el caudal y carga de las aguas residuales que ingresan a las aguas terrestres han comprometido su uso. La mayoría de las redes hidrográficas que atraviesan nuestras principales ciudades y pueblos se utilizan como cuerpos receptores de aguas residuales crudas o parcialmente tratadas, creando situaciones higiénico-sanitarias desfavorables para el normal desarrollo de las actividades económicas y sociales, con un posible impacto negativo a la salud (INRH, 2002).

En el contexto nacional cubano predominan las aguas residuales domésticas, industriales del sector agroalimentario (agrícola, pecuario, alimenticio, azucarero, pesquero), industriales del sector químico y minero, mixtas (generalmente una mezcla de residuales domésticos con los otros tipos). Estas descargas producen en los cuerpos receptores, los efectos negativos siguientes: decrecimientos de las concentraciones de saturación de oxígeno disuelto; aumento de la materia orgánica, disuelta y en suspensión, expresado por el aumento del parámetro Demanda Biológica de Oxígeno a los cinco días (DBO5); aumento de la turbiedad, color y sólidos en suspensión; incremento de la concentración de nitrógeno y fósforo y con ello problemas de eutroficación; incremento de la presencia de bacterias de origen fecal; aumento de salinidad, nitrificación de acuíferos, presencia de metales y compuestos orgánicos, entre otros.

4.1 Eutroficación

El término 'eutroficación' se utiliza para caracterizar los efectos biológicos provocados en los ecosistemas acuáticos naturales por el incremento de las concentraciones de nutrientes, típicamente fósforo (P) y nitrógeno (N). Desde mediados del siglo XX se ha reconocido como un fenómeno inducido por el hombre, y se ha registrado como un problema en cuerpos de agua en diferentes países.

La eutroficación en Cuba viene dada por el incremento de nutrientes, P y N en los cuerpos de agua, principalmente embalses, que aportan los residuales domésticos o mixtos, los residuales agropecuarios y drenajes de la agricultura intensiva (uso de fertilizantes inorgánicos).

La mayoría de los estudios hidrobiológicos que dieron lugar a metodologías de clasificación de los niveles tróficos de embalses se desarrollaron en climas templados. Para solucionar estas diferencias en las metodologías utilizadas, el antiguo Centro

Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), de conjunto con numerosos países latinoamericanos, desarrolló entre 1981-1990 una metodología simplificada para la evaluación de la eutroficación en lagos cálidos tropicales, aplicada también a embalses, la cual se adapta a las condiciones del clima latinoamericano. Su versión final, publicada en 2001 y conocida por sus siglas LACAT (Salas y Martino, 2016), es la que se ha aplicado en Cuba para estudios de este tipo.

La aplicación de este modelo en algunos embalses (Laiz *et al*., 1979) pertenecientes a la región central y occidental de Cuba –Lebrije (Le), Higuanojo (Hi), Zaza (Za), Tuinucú (Tu), Avilés (Av), Abreus (Ab), Paso Bonito (Pb) y Pedroso (Pe), este último en la provincia de Mayabeque, en el occidente del país– revelaron que los embalses estudiados, de acuerdo con el promedio de P, poseen niveles tróficos que van de oligotróficos, mesotróficos hasta eutróficos, donde un solo embalse, Pedroso, obtuvo una evaluación de hipertrófico (ver **Figura 2**).

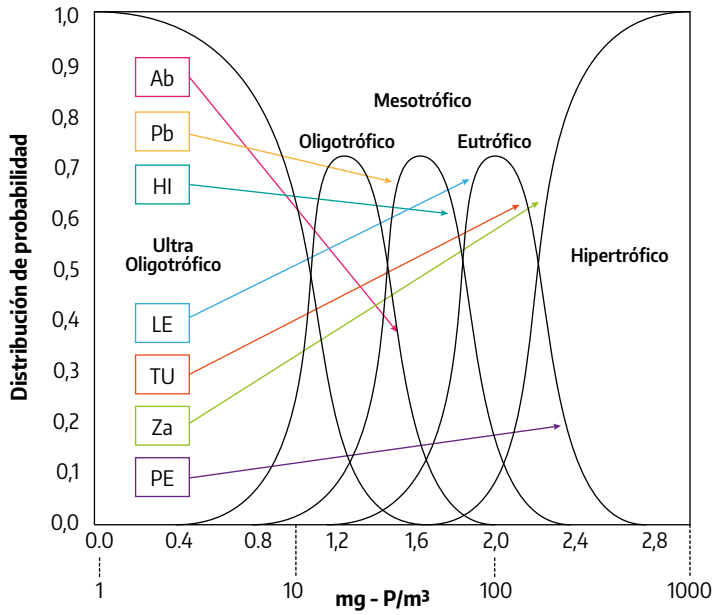
Los embalses con clasificaciones tróficas (eutróficos e hipertróficos) presentan signos evidentes de eutroficación, los cuales se asocian con la presencia y crecimiento anormal de vegetación acuática, en especial el Jacinto de agua, Eichhornia crassipes.

4.2 Agroquímicos y nitrificación de acuíferos

Los suelos de Cuba presentan características que promueven el uso intensivo de fertilizantes, pesticidas y herbicidas. Datos que corroboran este uso, proceden del Ministerio de la Agricultura (MINAG) y de su Instituto de Suelos (IS). La superficie agrícola de Cuba es de alrededor de 6,7 millones de hectáreas (ha). Los suelos agrícolas cubanos presentan diferentes afectaciones que limitan su uso y productividad, en especial, 70% de ellos tiene muy bajos contenidos de materia orgánica, 45% presenta baja fertilidad, lo que conlleva a que la agricultura extensiva necesite del uso de fertilizantes, aparejado al uso de pesticidas y herbicidas, así como a aplicar medidas de mejoramiento y conservación de suelos.

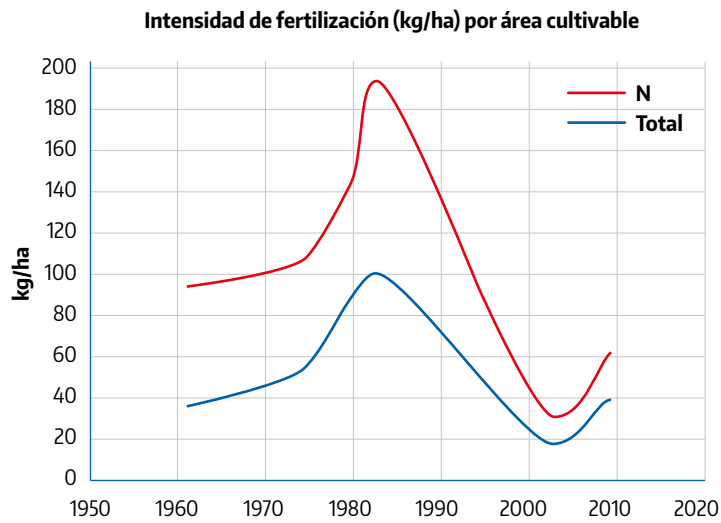
Datos y estimaciones sobre el uso de fertilizantes en Cuba (Rodríguez, 2015), durante el periodo 1960-2010, indican que la intensidad de fertilización en la superficie agrícola alcanzó cifras altas y crecientes entre 1980-1990, llegando a un máximo estimado entre 190-220 kg/ha; de ellos, aproximadamente 60% fueron fertilizantes nitrogenados, disminuyendo bruscamente hasta principios del año 2000, donde a partir de esa fecha inicia su recuperación.

Figura 2. Niveles tróficos en embalses cubanos de acuerdo con LACAT



Fuente: Laiz *et al*., 1979.

Figura 3. Tendencias de la intensidad de aplicación de fertilizantes en Cuba



Fuente: Elaborado por D. Rodríguez, 2015.

La concentración excesiva de nitratos en las aguas subterráneas de Cuba está asociada a fuentes difusas y puntuales de contaminación. Las fuentes difusas se originan principalmente debido a la aplicación de fertilizantes, químicos y orgánicos a la agricultura, siendo ésta la causa principal del aumento de las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas. Las puntuales son aportes al suelo de: residuales domésticos crudos, efluentes de sistemas de tratamiento, residuales agropecuarios e industrias con descargas ricas en compuestos nitrogenados.

Las aguas subterráneas se encuentran predominantemente vinculadas a sistemas cársicos, vulnerables a la contaminación. Evaluando el tiempo que trascurre entre 1960 y 1990, se puede considerar que las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados a nivel nacional estuvieron comprendidas entre 40-100 kg/ha, alcanzando altos valores entre 1980-1990 cercanos a 100 kg/ha (Figura 3). Esto es comparable a cifras utilizadas en países desarrollados. Resulta evidente que estas tasas de aplicación cambiaron la dinámica del ciclo del nitrógeno en el suelo y elevaron la concentración de nitratos en los acuíferos al aumentarla en las aguas percoladas.

La presencia de nitrato se considera prioritaria en términos de definir la calidad del agua potable en Cuba, ante todo, en términos de salud. La concentración máxima permisible de nitratos de acuerdo con la normativa de potabilidad vigente es de 45 mg/l (Oficina Nacional de Normalización, 2012).

La Red Nacional para el Control de la Calidad de las Aguas (RedCal) monitorea la concentración de nitratos en las aguas subterráneas. Los resultados obtenidos indican que a partir de la década de los 80 y hasta hoy día, las variaciones de la concentración de nitratos en las aguas subterráneas han tenido una evolución en el tiempo, que se observa en el comportamiento de los datos de 1983, 1991, 2010 y 2014. Como tendencia, en los años analizados, el rango de concentración de nitratos entre 0 y 10 mg/l disminuyó y aumentaron ligeramente entre 10 y 20 mg/l y 20 y 40 mg/l. Las estaciones con valores mayores que 45 mg/l se han mantenido con poca variación (URA-INRH, s/f).

Las mayores aplicaciones de fertilizantes nitrogenados ocurrieron entre 1985 y 1995. El aumento de la concentración de nitratos de los acuíferos ha ocurrido paulatinamente y en términos de decenas de años. No se ha manifestado, en términos generales, una rápida reducción de nitratos después de disminuir la fertilización nitrogenada aplicada a partir de la década de los años 90.

Con la desaparición de los países socialistas europeos, unido al recrudecimiento del bloqueo comercial, económico y financiero impuesto por el Gobierno de los EUA contra Cuba –que aún se mantiene–, la agricultura cubana a partir de los años 90, como se puede ver en la **Figura 3**, experimentó un cambio intenso y de gran alcance en la aplicación de fertilizantes por lo limitado de los recursos financieros y tecnológicos disponibles.

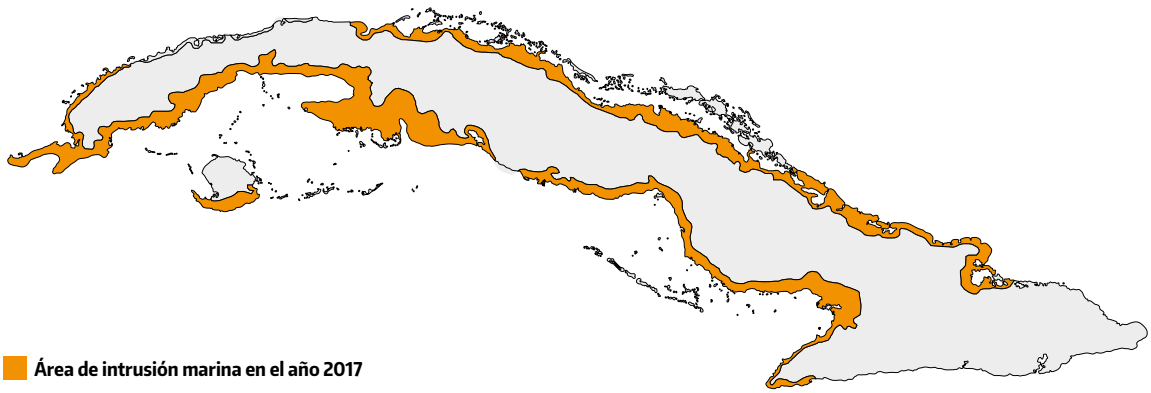
Ocurrió un intenso movimiento de búsqueda de alternativas y tecnologías sostenibles, orgánicas y otras, para enfrentar con éxito la sostenibilidad alimentaria en el país. Nuevas fuentes de nutrientes se desarrollaron y aplicaron en función de la producción agrícola, como el compost, humus de lombriz, biofertilizantes y bioplaguicidas.

También se desarrollaron los denominados Polígonos Demostrativos para el Mejoramiento y la Conservación del Suelo, el Agua y el Bosque (Rodríguez, 2017). Se conciben como sitios destinados a poner en práctica tecnologías integradas para la gestión de los recursos suelo, agua y bosque, con la intervención de la sanidad vegetal y otros medios. Estos sitios tienen como objetivo principal crear capacidades en las comunidades, sectores productivos y gobiernos locales para enfrentar los efectos del cambio climático, con un enfoque agrícola sostenible, donde se considera la finca como unidad básica de manejo y se atiende la cuenca hidrográfica como espacio físico geográfico a proteger. El uso de los polígonos como áreas priorizadas para la conservación del suelo, el agua y el bosque, le dio una nueva dimensión al trabajo que se venía realizando en Cuba con el Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de los Suelos (PNMCS).

4.3. Intrusión marina y salinización de los suelos

La intrusión marina es un fenómeno que ocurre en los acuíferos costeros. Es un proceso dinámico, donde el frente de agua salada avanza tierra adentro en los periodos de menor recarga del acuífero y retrocede hacia el mar cuando la recarga disminuye. Su mecanismo transita por alcanzar un equilibrio entre el agua dulce y el agua salada que depen-

Figura 4. Mapa (1:250000) de la intrusión salina 2009-2010



Fuente: INRH (GEIPI, GEARH y EIPH, 2011).

de de varias condiciones hidrogeológicas, entre las que el volumen de agua dulce aportado al mar suele ser el de mayor importancia. Cuando aumenta la extracción de las aguas subterráneas, sobreexplotándose en ocasiones, el volumen de agua dulce que se descarga al mar se reduce, permitiendo un aumento notable de entrada de agua de mar en las zonas costeras. En estos casos, la interfaz agua dulce-agua salada tiende a alcanzar un nuevo equilibrio. Si el volumen de extracción es mayor que la recarga natural del acuífero, el proceso de la intrusión marina es continuo y sostenido. En un determinado tiempo los pozos cercanos al área afectada aumentaran su salinidad, debido a la mezcla entre las aguas dulces y las aguas marinas, favorecidas por la explotación.

La intrusión marina en Cuba, en especial la inducida por una deficiente gestión del agua subterránea y malas prácticas de explotación, está presente en mayor o menor grado en los acuíferos cársicos costeros sometidos a un intenso uso, en especial el riego y el abastecimiento de agua potable. Resulta evidente que, entre los efectos del cambio climático, el ascenso del nivel del mar conllevará a la penetración del mar tierra adentro, lo cual introducirá un cambio notable en la dinámica de la intrusión marina en Cuba.

El Proyecto 13 "Estimación del impacto del cambio climático sobre el posible avance de la intrusión salina marina en los acuíferos costeros de Cuba", forma parte del Macroproyecto "Peligro y vulnerabilidad costera (2050-2100)" y es implementado por el CITMA. Incluyó la elaboración por los especialistas del INRH de la maqueta y mapa de la curva de sales solubles totales (SST) de 1 g/l, a una escala de 1:250 000 (GEIPI, GEARH y EIPH, 2011). Este resultado alcanzado, se muestra en la **Figura 4**. Se continúa trabajando en las estimaciones para los escenarios de 2050 y 2100.

4.4 Metales pesados

Los estudios sobre metales en aguas se desarrollaron al mismo tiempo que creció la capacidad analítica para su detección, con la aparición del espectrómetro de absorción atómica y su ulterior desarrollo: el horno de grafito y las nuevas generaciones de equipos ICP. Esta tecnología de alto costo es una limitante para los países en vías de desarrollo, que no tienen acceso por disponibilidad de fondos o por el desarrollo de personal especializado.

Cuba no estuvo exenta de estas limitantes y fue a partir de los años 70 cuando fue posible utilizar la espectrometría de absorción atómica e iniciar estudios a mayor escala de metales pesados en aguas naturales. En el año 2012, se puso en vigencia la Norma Cubana NC-827:2012 (Oficina Nacional de Normalización, 2012) que establece las concentraciones a cumplir por las fuentes de abastecimiento, o sea, el límite máximo admisible (LMA).

A través de la RedCal se ejecutaron dos monitoreos especiales vinculados con los metales. El primer estudio específico orientado al monitoreo y evaluación de metales de aquellas fuentes superficiales de mayor importancia, considerando la época de seca y lluvia, fue realizado en 2003 (Mora *et. al*., 2003). Incluyó el empleo de un número relativamente elevado de estaciones localizadas en la re-

gión occidental, central y oriental del país. Los metales determinados fueron: cadmio (Cd), cobalto (Co), manganeso (Mn), cobre (Cu), cinc (Zn), plomo (Pb), hierro (Fe) y níquel (Ni). Solamente 5% de los resultados dio valores por encima del rango esperado, de acuerdo con la norma establecida, y fueron atribuidos a problemas de muestreo o contacto con agentes metálicos (tuberías, conexiones), al no existir fuentes de contaminación cercanas.

El segundo estudio, de alta importancia, ya que consideró el muestreo de las fuentes de abastecimiento de agua para la población, tanto superficiales como subterráneas, fue realizado en 2016 (GEARH, 2016). Se analizaron 2620 fuentes en la primera etapa y 310 en una segunda de re-muestreo sobre resultados sospechosos. Se determinaron: cadmio (Cd), cromo (Cr), manganeso (Mn), cobre (Cu), cinc (Zn), plomo (Pb), hierro (Fe) y níquel (Ni). Solamente 9% de los resultados mostró valores por encima del rango esperado, que se atribuyeron al contacto del agua con metales propios de las tuberías de conducción. No se identificaron fuentes de contaminación, ya fueran naturales o antrópicas, en las cercanías de dichas fuentes.

Estos estudios indican que las fuentes de abastecimiento de aguas superficiales y subterráneas cubanas no son afectadas por contaminación por metales, estando su nivel natural relativamente ausente de los metales considerados.

5. Algunos programas orientados al control de los efectos negativos sobre la calidad de las aguas terrestres

5.1 Red de monitoreo de la calidad de las aguas (RedCal)

Para cumplir con la responsabilidad del control de la calidad de las aguas terrestres y del impacto de las descargas de aguas residuales a las cuencas superficiales y subterráneas, el INRH diseña y opera la Red Nacional de Observaciones de la Calidad de las Aguas (RedCal).

Sus objetivos fundamentales son: i) colectar datos básicos sobre la calidad de las aguas con el fin de categorizar los recursos hídricos del país, ii) determinar mediante el monitoreo de la calidad de las aguas la idoneidad de las fuentes destinadas a diferentes usos, en especial aquellas utilizadas en el abastecimiento público, iii) clasificar los recursos hídricos del país de acuerdo con su calidad con vistas a optimizar su uso y administrarlo eficientemente, iv) precisar y cuantificar la influencia negativa de la contaminación de los cuerpos de agua con el fin de conocer los peligros actuales y riesgos futuros, y de esta manera tomar las acciones adecuadas, v) determinar la efectividad de las medidas de control y tratamiento de las aguas residuales, vi) detectar las tendencias de la calidad de las aguas e instrumentar el sistema de alarma y acción adecuadas, y vii) confeccionar y operar un sistema de información de carácter nacional sobre la calidad de las aguas.

La RedCal cuenta con más de 30 años de observación sistemática hasta la fecha y su número de estaciones ha fluctuado entre 2400 y 3500 por año. En los últimos 10 años, el promedio del total de estaciones por año es de alrededor de 2700, siendo aproximadamente 75% estaciones básicas y 25% estaciones de vigilancia. De las estaciones básicas, entre 75 y 80% son subterráneas y, el resto, superficiales. De las estaciones de vigilancia, la mayoría son superficiales, incluyendo las descargas de aguas residuales.

El INRH cuenta con 14 laboratorios de aguas a nivel provincial. En el laboratorio nacional se llevan a cabo determinaciones de mayor complejidad que requieren de equipamiento especializado, para la determinación de metales y compuestos orgánicos. Los resultados de su operación, en especial los datos e informaciones que se generan, constituyen una fuente oficial para toda la nación.

Direcciones funcionales del INRH, en conjunto con las delegaciones provinciales y el sistema empresarial a cargo, elaboran boletines anuales y por periodo hidrológico de fin de seca (noviembre a abril) y de lluvia (mayo a octubre), que son empleados para la toma de decisiones y para evaluar su comportamiento en el tiempo.

5.2 Evaluación de la calidad de las aguas

Las herramientas principales de la evaluación de la calidad del agua que emplea el INRH son las determinaciones sistemáticas de los parámetros de calidad monitoreados en las estaciones y su comparación con lo establecido en las normas legales vigentes. De igual forma se emplean Índices de Calidad de las Aguas (ICA) (García y Gutiérrez, 2015)

y otros instrumentos, tales como modelos de autodepuración de corrientes, de clasificación trófica de embalses, aunque éstos en menor extensión y frecuencia. Se elaboran de manera sistemática boletines de calidad de agua.

5.3 Cobertura boscosa

El reconocimiento por parte de la comunidad mundial de la importancia de los bienes y servicios que brindan los bosques es cada día mayor. Las relaciones bosques-suelos-agua devienen fundamentales en la salud de los ecosistemas productivos y de conservación. Uno de los primeros programas de la Revolución, iniciado justamente en 1959, fue el Programa de Reforestación Nacional. Fue una respuesta a la situación existente con los bosques en el país. Estimaciones realizadas indican que, en la fecha de la llegada de los españoles a Cuba en el siglo XV, la cobertura boscosa alcanzaba alrededor de 90%, que fue disminuyendo hasta 50% en 1900, como resultado del desarrollo de la agricultura cañera. En 1959, no era mayor que 14% (Herrero, 2017).

En 1979 se perfecciona y desarrolla el programa de reforestación mediante acuerdo del Gobierno (Acuerdo 509/1979), orientado a la reforestación de cuencas hidrográficas y el establecimiento de franjas forestales protectoras de los cuerpos de agua. En 1998, la Asamblea Nacional del Poder Popular de Cuba, máximo órgano del país, aprobó la Ley No. 85 (Ley Forestal), que eleva de manera jerárquica y ejecutiva estas acciones. En 1999 se adopta la norma cubana NC-23 "Fajas forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales".

Como resultado de todas estas acciones, ya al cierre de 2015, los bosques en Cuba ocupaban una superficie de 3 184 000 ha, de las cuales 2 656 000 ha corresponden a bosques naturales y 528 000 ha a plantaciones (Herrero, 2017). En la distribución por categorías, los bosques Protectores de Aguas y Suelos representan 30% del total.

Esta categoría incluye los bosques naturales y plantados de las riberas de los cuerpos de agua conocidos como bosques de galería, los situados en las cabeceras de los ríos, en las zonas de recarga hídrica y los terrenos con pendientes pronunciadas ubicados en su mayoría en el sector superior de las cuencas.

La importancia de potenciar la elevación del área de bosques protectores de suelos y aguas está dada en la disminución de la erosión y el transporte de sedimentos, las concentraciones de nutrientes, mientras que por otra parte aumentará la penetración de la luz solar, el oxígeno disuelto, la capacidad autodepuradora de las corrientes, todo en beneficio de una mejor calidad de las aguas.

En la **Tabla 1** se observa el aumento del Índice de Boscosidad (IB) en las cuencas de interés nacional. La comparación del IB contra el IB potencial indica el esfuerzo a realizar.

Tabla 1. Índices de Boscosidad en Cuencas de Interés Nacional (2015)

Cuencas de Interés Nacional	Área Cuenca	% IB	% IB	% IB	% IB	% IB	IB potencial
Nombre	(ha)	2011	2012	2013	2014	2015	(%)
Cuyaguateje	79 500	69,1	69,6	70,3	70,1	70,3	87,0
Almendares-Vento	40 200	19,3	20,4	21,2	22,1	22,8	33,2
Ariguanabo	29 500	17,7	18,2	18,7	18,7	19,1	35,6
Ciénaga de Zapata	500 000	55,8	55,9	56,1	56,1	56,2	57,0
Sagua la Grande	218 416				7,20	7,70	10,3
Hanabanilla	28 747	40,5	40,8	40,9	41	41,0	41,9
Zaza	241 300	8,3	8,7	8,3	9,1	9,5	11,7
Cauto	954 020	17,3	17,6	18,3	18,6	19,5	21,0
Mayarí	126 40	34,6	35,0	36,4	37,3	38,0	43,3
Toa	106 100	92,2	92,4	92,6	93	93,0	94,4
Guantánamo-Guaso	234 700	24,7	24,8	25,2	25,4	25,5	28,6

Fuente: Herrero, 2017.

Recuadro 2. Inventario de fuentes contaminantes de las aguas terrestres, una herramienta para la vigilancia y control de su calidad

Registros de años cercanos del INRH indican que se identifica alrededor de 2.260 fuentes contaminantes principales de las aguas terrestres y, principalmente, de fuentes de abastecimiento de agua a la población, de las cuales aproximadamente se trata 72% de los residuales que se generan. De esas fuentes contaminantes, predominan las agroalimentarias con casi 700, mixtas y domésticas con 254 y 712, respectivamente, e industriales con 594.

5.4 Inventario de fuentes contaminantes de las aguas terrestres

Los inventarios de fuentes de contaminación son utilizados como referencia para su control y fiscalización, la localización de recursos financieros y técnicos, monitoreo y seguimiento, entre otras actividades, ya sea al nivel de provincias, municipios, cuencas hidrográficas u otra unidad que se seleccione. Este instrumento de trabajo se ha institucionalizado y perfeccionado en el país, tanto por la entidad rectora del medio ambiente cubano, el CITMA, como por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), rector de las aguas terrestres.

La caracterización y monitoreo físico-químico y bacteriológico de las aguas residuales es, ante todo, una responsabilidad del que la genera, según los instrumentos legales vigentes. Esta caracterización es una actividad imprescindible para conocer el impacto del vertimiento y su probable efecto en el cuerpo receptor, en términos de unidades de concentración y carga contaminante. El rector del medio ambiente tiene a su cargo el otorgamiento de las licencias ambientales, donde al igual participan el rector del agua y salud, y otros organismos implicados. La licencia específicamente cuenta con un punto referido a la exigencia de calidad para los vertimientos y el correspondiente monitoreo a llevar a cabo. Tanto la caracterización de las aguas residuales como todo el proceso de otorgación de la licencia ambiental, en relación con la contaminación de las aguas, está contemplado en la NC-27 "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones" (Oficina Nacional de Normalización, 2012).

De acuerdo con datos expuestos en el Anuario Estadístico de la Oficina Nacional de Estadística e Información de Cuba (ONEI) (2016), proporcionados por el CITMA, en el año 2015 la carga contaminante de origen orgánico dispuesta al medio ambiente, principalmente a las aguas terrestres, y en relación con las principales fuentes contaminantes consideradas en el inventario, fue de 157 547 toneladas de DBO5/año.

5.5 Tratamiento de aguas residuales

No existen antecedentes descriptivos del diseño, construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales en el país antes de 1959. Como resultado de la preocupación del Gobierno cubano y de las instituciones especializadas, desde los años iniciales del triunfo de la Revolución comenzó un proceso de capacitación de los recursos humanos y construcción de sistemas de tratamiento de residuales, para proteger la calidad de las aguas terrestres, en el contexto del desarrollo económico y social que experimentó el país.

Ya en el periodo 1971-1976, Cuba ocupó uno de los primeros lugares en Latinoamérica y el Caribe por adoptar y construir lagunas de estabilización, en primer lugar, como tratamiento de residuales domésticos, a lo que siguió su aplicación en el tratamiento de residuales pecuarios, azucareros y de la industria alimentaria. A finales de 1997 existían unas 1800 lagunas operando en el territorio nacional, administradas por el INRH (300), otros organismos y comunidades, principalmente destinadas al tratamiento de residuales domésticos. En 2014, su número estuvo cercano a 3000 (Gutiérrez y García, 2015).

La ONEI (2016) reporta que existen en Cuba 561 localidades beneficiadas con sistemas de alcantarillado, con un total de 787 sistemas de tratamiento de aguas residuales que administra el INRH.

En 2017 estaban en operación 15 plantas compactas de tratamiento de residuales, la mayoría de ellas asociadas a los polos turísticos y, el resto, en zonas urbanas de la capital del país. La capacidad total de tratamiento de las plantas es de alrededor de 70 000 m^3/d. En general, se trata adecuadamente alrededor de 55% de las aguas residuales generadas en el país.

Desde un punto de vista general, los residuales líquidos de la industria turística, no vinculados a sistemas alcantarillados, se tratan en plantas com-

pactas y la mayoría de ellas utilizan preferentemente el proceso de lodo activado, con pulimento final en función de su reúso. Las instalaciones de reproducción y de engorde de cerdos cuentan con sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales: cámara de rejas, desarenadores, digestores anaerobios y sistemas de lagunas en serie.

En la agricultura cañera, desde hace años, se emplea el fertirriego controlado de sus campos con las aguas residuales generadas en los ingenios, centrales azucareros y destilerías, disponiéndose de ellas a través de sistemas de lagunas, evitando que altas cargas de contaminantes afecten ríos y estuarios.

6. Inversiones en programas de calidad de las aguas

Datos de la ONEI indican que las inversiones ambientales han oscilado anualmente en el período 2011-2015, entre 482 millones de pesos hasta los 562 millones de pesos. De sus componentes expuestos en la **Tabla 2**, el agua ha sido el destinatario mayor, siendo su contribución porcentual alrededor de 50% del total de las inversiones ambientales por año, lo que permite ejecutar acciones y programas que mejoran, directa o indirectamente, la calidad de las aguas a nivel nacional y local.

En adición de lo anterior, por ejemplo, la ejecución real de las inversiones destinadas a la protección del medio ambiente en las 11 Cuencas de Interés Nacional en el periodo 2011-2015, ascendió aproximadamente a 799,8 millones de pesos, oscilando anualmente entre 118 y 229 millones, y como promedio anual aproximadamente 160 millones de pesos (una media de 32,4 % del total anual de las inversiones destinadas al medio ambiente). En el año 2016, ascendió a 184,84 millones en gastos de inversión y a 12,3 millones de gastos corrientes

Como tendencia, alrededor de 85% se destinó anualmente a la gestión de las aguas en todo el país (redes de alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y equipos para el control de la calidad y la contaminación de las aguas en las cuencas).

A continuación, la **Tabla 2** relaciona los gastos destinados a la protección del medio ambiente entre los años 2011 y 2016. Se incluyen los gastos dirigidos a la gestión integral de las cuencas hidrográficas.

7. Objetivos de Desarrollo del Milenio. Metas del Desarrollo Sostenible

La Asamblea General de las Naciones Unidas, en septiembre de 2002, aprobó la Declaración del Milenio, la cual aborda integralmente, y con un mayor alcance, los acuerdos suscritos en las cumbres mundiales de las Naciones Unidas en la década de los años 90.

Cuba, a través del Instituto Nacional de Investigaciones Económicas (INIE), en estrecha colaboración con la ONEI, rindió informes periódicos al sistema de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los indicadores del milenio, los que se pueden consultar en la página web de la ONEI (www.one.cu). El INRH tuvo a su cargo la información sobre la Meta 7C: "Reducir a la mitad para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible de agua potable y a servicios básicos de saneamiento".

Tabla 2. Gastos de inversión para la protección del medio ambiente (unidades en miles de pesos)

Sectores Ambientales	2011	2012	2013	2014	2015
Total	**482 454,8**	**488 452,6**	**517 267,0**	**562 621,3**	**534 820,6**
Agua	309 354,1	240 948,6	230 435,8	258 398,4	298 054,3
Suelos	18 146,9	18 473,6	23 61,0	32 172,5	11 233,5
Atmósfera	10 253,4	123 262,5	127 300,0	55 961,3	36 723,8
Recursos Forestales	74 661,6	71 445,0	122 140,5	126 590,6	91 667,5
Residuos Sólidos	13 924,9	12 307,3	10 484,8	24 862,1	17 425,2
Resto	20 073,9	1 957,2	3 295,1	64 646,4	79 716,2

Fuente: ONEI, 2016.

Tabla 3. Objetivos de Desarrollo del Milenio 2014 (Meta 7C)

Meta Indicador Indicadores Oficiales	2011	2012	2013	2014	2015
7.8 Proporción de la población con acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable (%)					
Zona Urbana	81,90	96,30	96,30	98,30	93,90
Zona Rural	68,80	72,20	77,20	75,70	74,70
7.9 Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados (%)					
Zona Urbana	96,10	97,00	97,90	98,40	94,60
Zona Rural	68,20	83,20	86,00	82,50	81,10

Fuente: ONEI, Objetivos de Desarrollo del Milenio (2015).

Las altas cifras y coberturas alcanzadas por Cuba se han logrado en circunstancias económicas difíciles por el bloqueo financiero, comercial y económico del Gobierno de los EUA y sin disponer de la colaboración de las organizaciones financieras internacionales.

De acuerdo con el *Anuario Estadístico de Cuba 2016* (ONEI, 2017), capítulo 2 "Medio Ambiente", la población con acceso a agua potable en el área urbana alcanzó 98,3% (conexión domiciliaria 85,6%; servicio público[2] 2,9% y fácil acceso[3] 9,8%. Con similar clasificación, en el área rural se reporta 40,4%, 10,7% y 35,4%), mientras que el saneamiento en el área urbana alcanzó 98,4 (alcantarillado 46,3%, fosas y letrinas 52,1%) y en el área rural 92,2% (alcantarillado 3,5%, fosas y letrinas 88,7%), porcentajes que sustentan el orden prioritario dado por el país a la desinfección del agua destinada al consumo humano.

7. 1 Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible

En septiembre de 2015 se adoptó en las Naciones Unidas la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, concebida como un nuevo plan de acción más abarcador. Esta nueva visión 2015-2030 transformó los Objetivos de Desarrollo del Milenio: cuenta con 17 Indicadores para el Desarrollo Sostenible (SDGs, por sus siglas en inglés).

2. Servicio público es el servicio de agua por carros cisternas y los usuarios tienen que acarrear el agua dentro y fuera del domicilio.

3. Fácil acceso: requiere buscar el agua hasta 300 metros. Ambas definiciones aparecen en la propia referencia citada.

El INRH, institución encargada de organizar, planificar y suministrar la información del indicador número 6 "Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos" y sus ocho metas, se encuentra trabajando en ello para ofrecer los datos e información nacional, según los compromisos ya adoptados.

8. Experiencias exitosas

8.1 La gestión ambiental en cuencas hidrográficas

Sustentado en los artículos 110 y 111 de la Ley 81 de Medio Ambiente de 1997, el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros de Cuba (CECM) adoptó en el mismo año el Acuerdo 3139 y se crearon los Consejos Nacional, Territoriales y Específicos de Cuencas Hidrográficas. El Reglamento de los Consejos fue puesto en vigencia en agosto de 2007. Se han aprobado 11 cuencas de interés nacional, a partir de su importancia económica, social y ambiental, distribuidas en toda la geografía nacional, y 50 cuencas de interés provincial, así adoptadas por acuerdos de los respectivos gobiernos provinciales.

Desde su inicio, los indicadores de la gestión integrada en las cuencas, mediante programas concretos de trabajo, han permitido su evaluación de manera permanente. Éstos son: (i) inversiones destinadas a la protección del medio ambiente en las Cuencas de Interés Nacional, (ii) recursos hidráulicos (redes cuantitativas y cualitativas, coberturas de agua potable y saneamiento, mantenimiento a la infraestructura hidráulica, (iii) planificación del uso de las aguas por cuenca hidrográfica, (iv) mejoramiento y conservación de suelos, (v) reforestación

(cobertura total, fajas forestales y fincas forestales), (vi) lucha contra incendios y manejo del fuego, (vii) vigilancia cooperada de los recursos naturales, (viii) lucha contra la contaminación y reducción de carga contaminante, (ix) estudios y uso sostenible de la diversidad biológica, (x) educación ambiental y participación, (xi) ciencia e innovación tecnológica, y (xii) planes de Ordenamiento Territorial.

Con la aprobación de la Ley 124/2017 de Aguas Terrestres antes mencionada (ver **Recuadro 1**) y la adopción de su Reglamento, se ha visto fortalecido el rol y responsabilidades de los Consejos. Ahora, con mayor alcance y jerarquía, continuará desarrollándose todo lo relacionado con la gestión del agua y su calidad en la cuenca.

8.2 Educación y concienciación pública. Proyecto "Agua Amiga de las Niñas y los Niños"

Con la finalidad de aumentar los conocimientos y una cultura del cuidado del agua como recurso natural en las niñas y los niños cubanos, en el año 1999 en el INRH quedó constituido el **Grupo Nacional Agua Amiga de las Niñas y los Niños**, que ha contado con el apoyo del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), de la Sociedad de Ingeniería Hidráulica de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC), del Comité Cubano del Programa Hidrológico Internacional (PHI), de la Asociación Cubana de las Naciones Unidas (ACNU), del Programa de Asociación de País en Apoyo a la Lucha contra la Desertificación y la Sequía (OP15), coordinado por la Agencia de Medio Ambiente de Cuba, y de otras instituciones, así como de los gobiernos locales en cada provincia.

La misión central de este grupo ha sido desarrollar iniciativas de trabajo con la población comprendida entre los 5 y 24 años de edad, para fortalecer la educación sanitaria de niñas, niños, adolescentes y jóvenes de todas las provincias del país, en aspectos relacionados con el agua –como su importancia para la higiene y la salud– con vistas a desarrollar en ellos un sentido del deber hacia este recurso, en lo que se refiere a su uso adecuado, ahorro y protección, enfatizando la necesidad de desarrollar los hábitos higiénicos necesarios.

Entre las actividades desarrolladas, destaca la participación creciente de niñas, niños, adolescentes y jóvenes en el concurso TRAZAGUAS que, con periodicidad anual, y de forma ininterrumpida, alcanzó su XVIII edición en 2017. Su amplia difusión nacional permitió que en ese año se recibiera un total de 5789 trabajos en las diferentes modalidades (dibujos, cuentos, poesía). En cada edición, los organizadores del concurso han impreso carteles con los trabajos premiados. Esta difusión, además de reflejar el esfuerzo de los niños, niñas y jóvenes participantes, es una vía para la trasmisión de experiencias a otros. En particular, la edición de siete libros que difunden cuentos, poesías y vivencias de los ganadores, ha resultado de un gran impacto.

El trabajo estable de TRAZAGUAS ha llevado a un aumento sostenido en el número de círculos de interés dedicados al agua en todo el país. En el año 2016 se contaba con 173 de estos círculos que agrupan a un total de 2876 niñas, niños y adolescentes matriculados en la enseñanza primaria, secundaria, media superior y especial, y que son objeto de atención y dirección técnica de especialistas de las distintas entidades del INRH y otras instituciones vinculadas con la gestión del agua.

9. Conclusiones y recomendaciones

Habiéndose descrito la situación de la calidad de las aguas en Cuba, en la Tabla 4 se muestra una cadena causal de los principales problemas identificados, propuesta por los autores.

Durante los últimos 50 años, el Gobierno, a través de las autoridades nacionales correspondientes, con particular atención la autoridad de las aguas terrestres, ha impulsado de forma sistemática las tareas relacionadas con el diagnóstico, detección, evaluación, instrumentos legales y los arreglos institucionales, para la evaluación de la calidad de las aguas del país. Existe un conocimiento profundo de tales características fundamentales y otras, tal y como ya se ha descrito, que no sólo permiten un suministro seguro de la cantidad de agua, sino también de su calidad.

Esto se ha alcanzado en un contexto concreto y complejo que ha transitado por causas de diferente tipo, tales como:

- Condición insular, vulnerabilidad e impactos negativos del cambio climático sobre el recurso hídrico. El desarrollo hidráulico cubano es un importante logro de la Revolución.

- Recrudecimiento del bloqueo financiero, económico y comercial del Gobierno de los EUA contra Cuba.
- Decisión del Gobierno de colocar anualmente cifras millonarias destinadas a inversiones y mantenimiento para la gestión de las aguas y la infraestructura hidráulica en el país.
- La elaboración y ejecución de planes y programas destinados de manera directa e indirecta al mejoramiento de la calidad de las aguas terrestres, tales como:
  - Plan Hidráulico Nacional;
  - Plan de Lucha contra la Contaminación de las Aguas Terrestres;
  - Programa de Inversiones y Mantenimiento, para el incremento relativo de las disponibilidades de agua para la economía, sociedad y medio ambiente, incremento de coberturas de agua potable y saneamiento;
  - Programa de hidrometría en redes y conductoras de agua potable y de canales y trasvases de agua entre cuencas;
  - Programa para el incremento de la eficiencia en el uso del agua y disminución de pérdidas en conducción;
  - Perfeccionamiento de la RedCal con un aumento en el número de determinaciones, en especial metales y compuestos orgánicos;
  - Programa de rehabilitación de la Red Hidrogeológica para evaluar y controlar la Intrusión Salina;
  - Programa de Conservación y Mejoramiento de los Suelos, que incluye el desarrollo de polígonos de aguas, suelos y bosques;
  - Programa de Reforestación nacional, en especial en las cuencas hidrográficas y franjas hidrorreguladoras.

Con el mismo sentido, se recomienda continuar trabajando para:

- Extender el monitoreo de sedimentos en zonas afectadas por vertimientos industriales, así como aumentar el número de parámetros

Tabla 4: Cadena causal de los problemas de calidad de las aguas

Problemas de Contaminación	Sectores	Causa inmediata	Evaluación del impacto	Causa raíz
Eutroficación	Agricultura	Aumento de las concentraciones de nitrato en las aguas subterráneas.	Moderado – Alto	Altas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados.
Nitrificación de acuíferos	Agricultura	Aumento de las concentraciones de nitrato en las aguas subterráneas.	Moderado – Alto	Altas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados.
Contaminación urbana	Urbanización	Pérdida de calidad en corrientes superficiales, en especial, ríos que atraviesan grandes núcleos urbanos.	Alto	Falta de infraestructura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.
Contaminación industrial y agroalimenticia	Industria	Pérdida de calidad en corrientes superficiales que reciben las descargas de aguas residuales.	Bajo - Moderado	Ausente o deficiente tratamiento de aguas residuales.
Contaminación relacionada con la erosión de suelos y cauces	Agricultura (suelos y forestales)	Aumento de las tasas de transporte de sólidos en suspensión en corrientes superficiales y embalses.	Moderado	Deficiente manejo de suelo y bosques.
Contaminación por intrusión marina	Agricultura	Aumento de la salinidad en las aguas subterráneas.	Moderado	Sobreexplotación de acuíferos. Deficiente control de las extracciones.
Contaminación por metales pesados	Minería y Geología	Aumento de las concentraciones de metales	Bajo	Actividad minera. Contaminación natural.

Fuente: INRH, elaborado por los autores de este capítulo.

a detectar sistemáticamente, en especial compuestos orgánicos vinculados con su uso en la agricultura.
- Aumentar la frecuencia del monitoreo en tramos de ríos afectados por descargas de aguas residuales e incorporar variables hidrobiológicas, con el fin de estudiar el estado de los ecosistemas acuáticos de mayor importancia.
- Fortalecer las relaciones de cooperación existentes con instituciones nacionales científicas y docentes, que realizan estudios puntuales o investigaciones relacionadas con la calidad del agua, y tomar en cuenta sus resultados con vistas a la adopción de acciones pertinentes.

Agradecimientos

Los autores agradecen las contribuciones de: MSc Orlando Laiz Averhoff, EIPIH - INRH (IV.1); MSc Dagoberto Rodríguez Lozano, Director de Suelos y Fertilizantes, MINAG (IV.2); Dr. Juan Herrero Echevarría, Dirección Forestal, Flora y Fauna Silvestres, MINAG (V.3); Ing. Amneris Carreras Rodríguez, Coordinadora Nacional, Grupo Agua Amiga de los Niños y Niñas, Dirección de la Gestión de la Innovación y la Tecnología, INRH (VIII.2).

Referencias bibliográficas

Allan J.A. (1993). Fortunately, there are substitutes for water otherwise our hydropolitical futures would be impossible. In: *Priorities for water resources allocation and management.* London: ODA. pp. 13-26.

García, J. M. y Gutiérrez, J. (2015). Un índice para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales en cuencas hidrográficas (ICA sp 2014). *Revista Voluntad Hidráulica* No. 113 de 2015. ISSN 0505-9461.

GEIPI / GEARH / EIPH (2011). *Exposición sobre los trabajos relacionados con el cumplimiento a los proyectos 13 y 9, del Megaproyecto sobre el Cambio Climático en la República de Cuba. Presentación.* La Habana: INRH.

Grupo Empresarial de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (GEARH) (2016). *Resumen del pesquisaje de metales pesados en las aguas de las fuentes de abasto para consumo humano. Informe preliminar.* Documento interno. La Habana: INRH.

Gutiérrez, J. y García, J.M. (2015). *Manual de lagunas de estabilización.* La Habana: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). ISBN 978-959-300-115-1.

Herrero, J.A. (2017). *Bosques en cuencas hidrográficas de interés nacional. Situación actual y perspectivas.* 1er. Taller de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas. La Habana: Dirección Forestal, Flora y de Fauna Silvestre / Ministerio de la Agricultura. ISBN 978-959-247-156-6.

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) (2002). Los recursos hidráulicos en cifras. Edición Especial 40 Aniversario INRH. *Revista Voluntad Hidráulica,* Año 2002. ISSN 0505-9461.

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) (2012). *Política Nacional del Agua* La Habana: INRH.

Laiz, O.; Quintana, I.; Blomqvist. P.; Broberg, A.; Infante, A. (1979). Comparative limnology of four Cuban reservoirs. *Int. Rev. Hidrobiology* 79 (1) 17-45.

Ministerio de Justicia. *Gaceta Oficial de la República de Cuba.* GO No. 51 Extraordinaria del 16 de noviembre de 2017. Ley 124/2017 (GOC -2017-715-Ex51). ISSN-1862-7511.

Mora, I.; Muñoz, M.; Hernández, S.; Matos, A. (2003). *Estudio del contenido de metales en las principales fuentes de abasto de Cuba.* La Habana: Centro Nacional de Hidrología y Calidad de las Aguas, Rama 1003.

Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI) (2015). *Los Objetivos de Desarrollo del Milenio – Cuba.* La Habana: ONEI Edición.

Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI) (2016). *Anuario Estadístico de Cuba 2015.* ISBN: 978-959-7119-62-3.

Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI) (2017). *Anuario Estadístico de Cuba 2016.* Capítulo 2. Medio Ambiente.

Oficina Nacional de Normalización (2012). *NC 27-2012. Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Especificaciones.*

Oficina Nacional de Normalización (2012). *NC 827-2012. Agua potable requisitos sanitarios.*

Rodríguez, D. (2015). *Taller de Alianza Regional para Centro América, México y el Caribe. Prioridades hacia un Manejo Sostenible del Suelo.* La Habana: FAO.

Rodríguez, D. (2017). La función de los polígonos de suelos, aguas y bosques en la protección y conservación de cuencas. Logros alcanzados. 1er. Taller de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas. CUBAGUA 2017. La Habana: Ministerio de la Agricultura. ISBN 978-959-247-156-6.

Salas, H. y Martino, O. (2001). *Metodología simplificada para la evaluación de lagos cálidos tropicales.* La Habana: CEPIS.

Servicio Hidrológico Nacional (2006). Nuevos Logros en el Estudio de la Pluviosidad en Cuba. Mapa Isoyético para el periodo 1961-2000. *Revista Voluntad Hidráulica* No. 98, pp. 2-14.

Ecuador

Ecuador es poseedor de una extensa y abundante red hídrica que se alimenta de los deshielos de sus nevados Andinos. Si bien la epidemia de cólera de 1991 determinó una expansión importante en las coberturas de agua para beber, los avances en el tratamiento de las aguas servidas han sido limitados. Muchos de sus recursos hídricos todavía son contaminados por aguas residuales, desechos sólidos, químicos industriales y biosólidos pecuarios que son vertidos hacia el ambiente acuático.

Cascada de San Rafael, Ecuador © iStock

Calidad del agua en Ecuador

Ricardo Izurieta, Arturo Campaña, Juan Calles, Edmundo Estévez y Tatiana Ochoa

Introducción

El Ecuador, país sudamericano atravesado por la línea ecuatorial, tiene un área territorial de 257.217 km^2. El 96,8% de su extensión corresponde al territorio continental y el porcentaje restante a unas pocas islas cercanas y al archipiélago de Galápagos, situado a 900 km de la costa pacífica. La división administrativa del país cuenta con 24 provincias y 221 cantones. Su población actual es de 16.778.994 habitantes, 63,5% urbana y 46,5% rural. Su parte continental tiene tres regiones claramente diferenciadas: la Costa, región de clima cálido que se extiende entre el Pacífico y las estribaciones occidentales de la cordillera de Los Andes; la Sierra, región de climas frío y templado comprendida entre los ramales occidental y oriental de esta misma cordillera; el Oriente o región Amazónica, que se extiende desde las estribaciones orientales de la cordillera andina hasta su límite con la región amazónica de Colombia y Perú (**Figura 2**). En la región de la Sierra, las poblaciones se abastecen de agua que proviene de los deshielos de los varios nevados (**Figura 1**) y lagunas (**Figura 3**) existentes en la cordillera de los Andes, mientras que en los subtrópicos y trópicos occidental y oriental de la cordillera Andina las cascadas (**Figura 4**) y ríos de la vertiente del Pacifico y los de la vertiente Amazónica abastecen de este elemento a las poblaciones y ciudades asentadas en estas zonas (**Figura 2**).

Calidad de las aguas naturales superficiales y subterráneas

La contaminación de las aguas superficiales ocurre en todo el país y está relacionada con las fuentes urbanas y agrícolas. Ecuador posee una amplia red hídrica con ríos de gran importancia como el Guayas y Esmeraldas en la vertiente Pacífica, y el Napo y Pastaza en la vertiente Amazónica. Las fuentes de contaminación a nivel nacional son principalmente los asentamientos humanos y las aguas residuales sin tratamiento que aquéllos arrojan a los ríos. Cada región del país presenta fuentes de contaminación diferentes. En la Costa, la contaminación por pesticidas y fertilizantes está relacionada principalmente a la producción agrícola industrial de banano y palma africana; en la zona costera, la contaminación de

Ricardo Izurieta rizuriet@health.usf.edu Coordinador del capítulo, Department of Global Health, University of South Florida (USF); Colegio de Medicina, Universidad San Francisco de Quito (USFQ). **Arturo Campaña** acampana@hotmail.es Director del Sistema de Investigaciones sobre la Problemática Agraria en el Ecuador (SIPAE). **Juan Calles** jacalles2003@yahoo.es Consultor independiente. **Edmundo Estévez** carreleestevezm@gmail.com Carrera de Medicina, Universidad Central del Ecuador (UCE). **Tatiana Ochoa** Tatiana.Ochoa@moffitt.org Department of Global Health, University of South Florida (USF); Moffitt Cancer Center, Tampa, Florida.

las aguas superficiales y esteros está estrechamente relacionada con la actividad camaronera y acuícola en general; en la Sierra, la contaminación no puntual tiene origen en los sistemas agrícolas tradicionales y cultivos de exportación como flores y brócoli con uso extensivo de pesticidas y fertilizantes; en la Amazonía, una de las principales fuentes de contaminación de los ríos y lagunas es la actividad petrolera y, en los últimos años, la expansión de la actividad minera. En este último caso, la minería tiene focos de contaminación puntuales a nivel nacional en sitios como Portovelo, Nambija, Zaruma y recientemente en el norte de la provincia de Esmeraldas.

Otro problema generalizado de contaminación de las aguas superficiales está relacionado con la deforestación y el cambio de uso del suelo en todo el país. Las malas prácticas agrícolas y las condiciones geográficas del país favorecen el aumento de sedimentos en los ríos y afectan la capacidad de almacenamiento de los reservorios y embalses. A pesar de la importancia de la calidad del agua para el Ecuador, la información disponible sobre este tema es limitada y dispersa. El país no posee un sistema de monitoreo nacional de calidad del agua y la mayoría de la información disponible viene de estudios puntuales, tesis de grado o evaluaciones de impacto ambiental.

Contaminantes biológicos

Virus

El conocimiento sobre virus en los sistemas acuáticos continentales es limitado. Sin embargo, el conocimiento de estos organismos en algunas ocasiones

Figura 1. Cumbre nevada del volcán Cayambe, en el cantón del mismo nombre, Provincia de Pichincha, Ecuador

Foto: cortesía Dr. Arturo Campaña.

se ha relacionado con enfermedades que han afectado a especies de interés comercial en la industria piscícola. En los años 90, la aparición del denominado Virus Síndrome de Taura (TSV, por sus siglas en inglés) descubierto en Ecuador en el Río Taura, cerca de la ciudad de Guayaquil, afectó a la producción de camarón y se expandió a otras regiones de la región y el mundo (Cuéllar-Anjel, 2013). Otro virus que se ha reportado en las aguas superficiales relacionado con actividades acuícolas es el denominado Virus de la Tilapia de Lago (TiLV) (Ferguson, 2014), que afecta a la producción de esta especie en Ecuador y otros países del mundo.

Bacterias

Los estudios sobre contaminación de aguas superficiales se han concentrado principalmente en evaluar la presencia de *Escherichia coli* como un indicador de contaminación biológica relacionada con contaminación orgánica. La mayoría de los análisis de calidad del agua de aguas superficiales indica la presencia de *E. coli* en sus resultados. Un trabajo

Figura 2. Mapa del Ecuador con las vertientes hidrográficas del Pacífico y Amazónica. Calidad de las aguas naturales superficiales y subterráneas

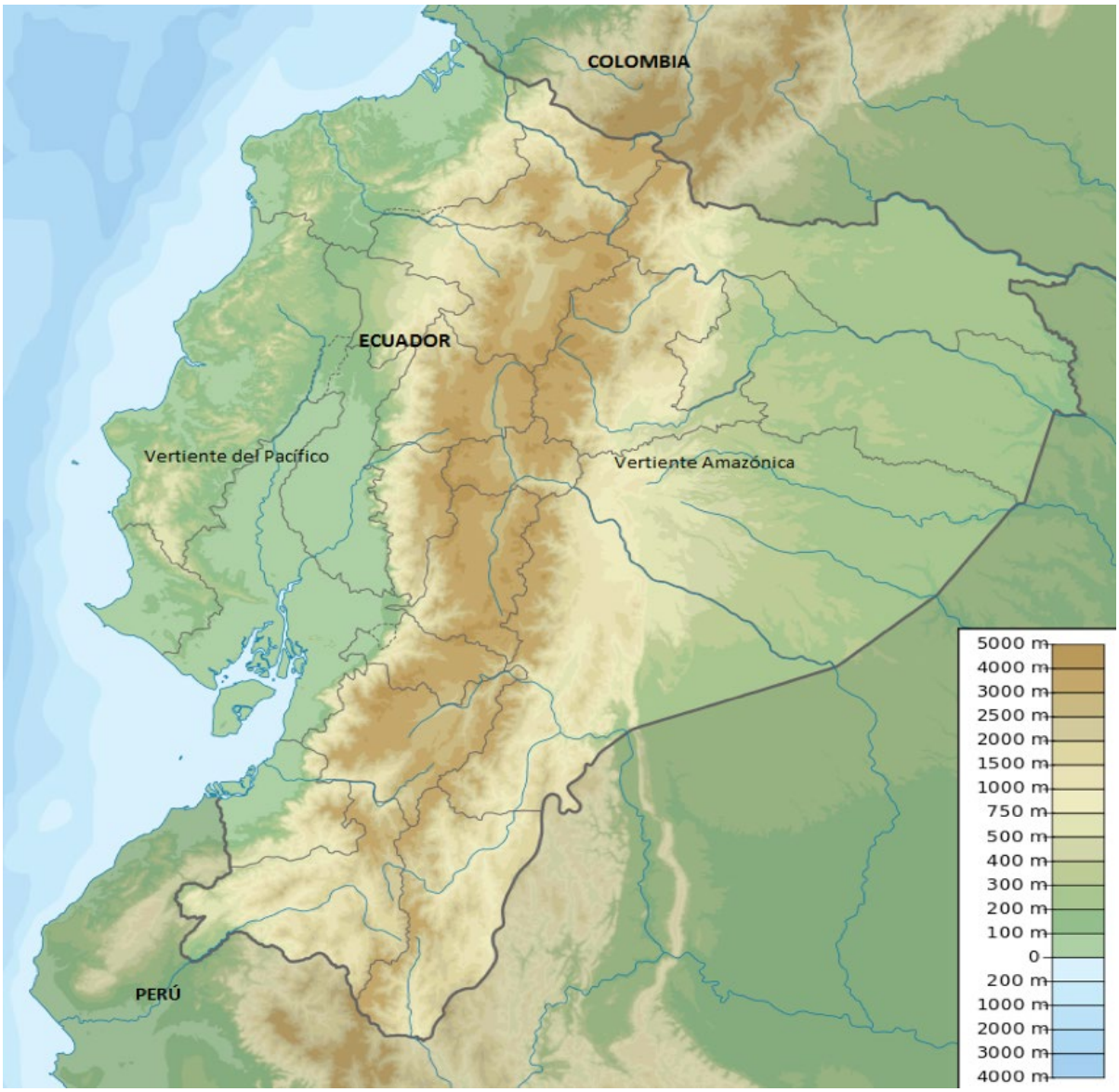


Figura 3. Laguna del Cajas en la provincia del Azuay. Laguna del Parque Nacional Cajas, Provincia del Azuay, Ecuador

Foto: iStock

realizado por SENAGUA (2010) indica que 67% de las muestras analizadas en la cuenca del Río Guayas superan el límite máximo permisible (1000 NMP/100ml) de coliformes fecales, alcanzando valores de hasta 16.000 NMP/100ml en los ríos Daule, Cañar, Bulubulu y Chimbo.

Levy indica que la presencia de *E. coli* está altamente influenciada por las lluvias. En su trabajo (2009) detectaron variaciones entre 200-45.000 UFC/100mL en la época seca, y entre 300-45.000 UFC/100mL en la época lluviosa. Ese trabajo realizado en la provincia de Esmeraldas indica los niveles de contaminación en las aguas superficiales que, en esta zona y otras del país, son la fuente de agua para consumo humano de las comunidades locales. La presencia de E. coli es generalizada en las fuentes de agua superficiales con rangos que varían de acuerdo con el uso del suelo y presencia de poblados en las cercanías.

Algas (eutrofización)

En el país, un caso emblemático de eutrofización se presenta en el embalse Daule-Peripa en la costa ecuatoriana, que es el más grande del país con una extensión aproximada de 420.000 ha. Este proceso ha llevado al desarrollo extensivo del lechuguín o jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en la superficie del embalse debido a la alta concentración de nutrientes y bajo contenido de oxígeno.

Otros indicadores biológicos

En los últimos años, en el país se han desarrollado múltiples análisis que consideran a los macroinvertebrados acuáticos (insectos y otros organismos acuáticos) como indicadores de la calidad del agua. Estos organismos viven en los sustratos de los ríos por semanas y meses y permiten tener una idea a largo plazo de la calidad del agua, ya que cuando hay presencia de contaminantes físicos o químí-

Figura 4. Cascada Azul, Cantón Puerto Quito, Provincia de Pichincha, Ecuador

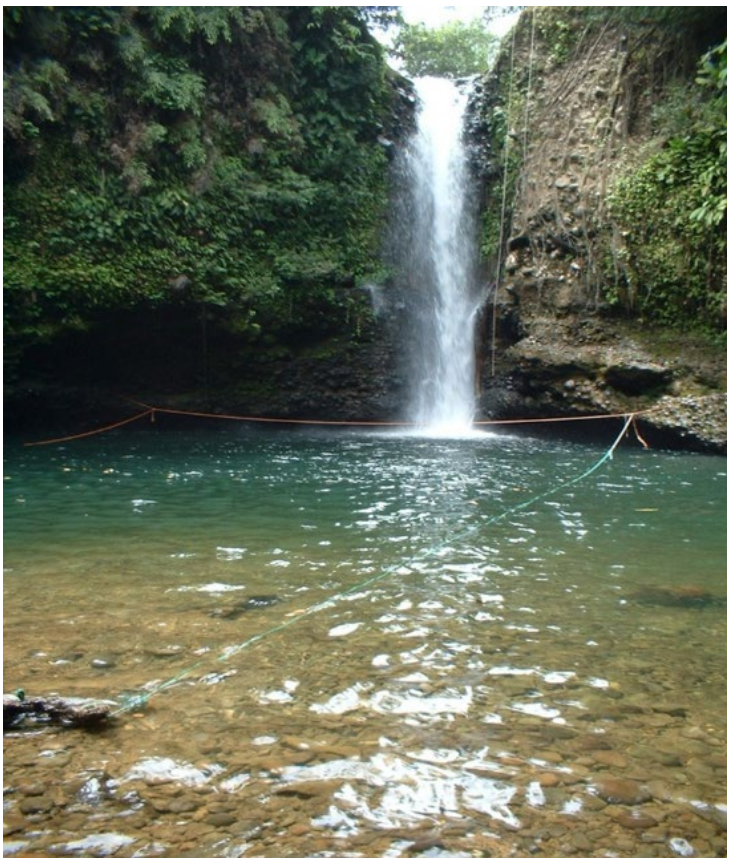


Foto: cortesía Dr. Arturo Campaña.

cos, estos organismos desaparecen de acuerdo con su resistencia a los cambios ambientales. Para este propósito se utilizan índices como el denominado BMWP para el análisis de la calidad del agua. Este índice es ampliamente utilizado en Ecuador y permite la evaluación de los ríos mediante estos organismos (Rios-Touma, 2014; Ambarita, 2016).

El estudio realizado en la cuenca del Río Santiago en la provincia de Esmeraldas (PUCESE, 2012) demostró que los 10 ríos estudiados están en condición crítica o muy crítica de acuerdo con el índice BMWP/Col (Roldán, 2003). Otro ejemplo del deterioro de la calidad del agua mediante la aplicación de este índice realizado en la cuenca del Río Guayas (Cárdenas, 2013) señala que de los 43 sitios estudiados, 31 sitios tienen una condición crítica o muy crítica. Dueñas, al estudiar el Río Portoviejo, indica que 19 de los 31 sitios estudiados se encuentran en condiciones de calidad pobre, mala y muy mala, evidenciando el deterioro de la calidad del agua de este río (Dueñas, 2016). En la cuenca del Río Paute, un trabajo similar (Ortíz, 2014) detectó que en época seca 7 de los 17 sitios estudiados presentaron una condición crítica o muy crítica, y en época lluviosa 9 de los 22 sitios estaban en una condición crítica o muy crítica.

Otro aspecto interesante son los análisis realizados para determinar la presencia de metales pesados en peces. Un estudio realizado en la cuenca del Río Santiago en la provincia de Esmeraldas evidenció que varias especies de peces pueden tener contenidos de metales pesados que superan las normas conocidas a nivel nacional e internacional (PUCESE, 2012).

Contaminantes químicos

La información disponible sobre contaminantes químicos muestra que los datos recopilados dependen del objetivo del estudio y la disponibilidad de laboratorios para analizar las muestras.

Inorgánicos

Arsénico

En el Ecuador, la contaminación con arsénico fue detectada recientemente en aguas geotermales, subterráneas y superficiales, así como en sedimentos. El estudio *One century of arsenic exposure in Latin America* (Bundschuh, 2012) destaca importantes evidencias acerca de la contaminación por arsénico en Ecuador; por ejemplo, los hallazgos de De la Torre (2004) informan de altas concentraciones en aguas termales, ríos y cuencas lacustres, así como en el lago Papallacta con rangos de entre 390–670 µg/L en los años 2006 y 2007. Técnicos ambientales y expertos manifestaron que la posible causa de la alta concentración de arsénico en la Laguna de Papallacta fue la remoción de sedimentos de la Laguna durante el proceso de remediación de la contaminación con petróleo crudo, producida por una rotura del Oleoducto Transecuatoriano SOTE que ocurrió en 2003 (De la Torre, 2004). Por otro lado, los estudios de Cumbal y colaboradores determinaron mediciones de entre 62 a 698 µg/L a lo largo del río Tambo, principal tributario de ese lago; también encontraron concentraciones de 1.090 a 7.852 µg/L

en sus aguas termales. Más todavía, determinaron altas concentraciones de arsénico en los sistemas hídricos de las provincias interandinas de Carchi, Imbabura, Pichincha y Tungurahua, especialmente notables en sus aguas termales (Cumbal, 2009; Bundschuh, 2012).

Las corrientes fluviales de zonas mineras o con mineralizaciones muestran contenidos altos de arsénico, generalmente en el rango de 200-400 ug/L; éstos no siempre han de tener un origen exclusivamente antropogénico. En 2007, los ríos de las zonas costeras del Ecuador, como los ríos Gala, Tenguel, Siete, Chico, se reportan estar contaminados de metales como mercurio, cromo, cobre, plomo, arsénico –este último en niveles 15 veces más altos de lo permitido–, debido a las operaciones mineras realizadas en la provincia del Azuay en el sector de Ponce Enríquez. El agua de estos ríos es utilizada para lavado de vestimenta y limpieza corporal a falta de agua potable, lo que incrementa la frecuencia de exposición por contacto con la piel. En cambio, en la parte norte del país las aguas superficiales de los ríos El Ángel, San Pedro, Pichán y las quebradas Cachiyacu e Ilalo de las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua que reciben aguas termales provenientes de las fuentes y aguas termales residuales de los balnearios localizados en esta región, contienen arsénico en el rango de 2 a 171 ug/L. (Cabrera, 2014).

El otro estudio realizado en la cuenca del Río Santiago en la provincia de Esmeraldas muestra concentraciones de este metal en el agua con variaciones entre valores <0,01 mg/L hasta 1,5 mg/L, y la concentración de este mismo metal en peces y organismos acuáticos, como camarones, alcanza valores entre 0,19 y 2,3 mg/kg, indicando procesos de bio-acumulación en especies que son consumidas por las poblaciones locales (PUCESE, 2012). La presencia de este metal en la zona está relacionada a la actividad minera que se desarrolla en los ríos y riberas de este sector del país.

Cadmio

En el estudio realizado a lo largo de 80 km del Río Daule (Huayamave, 2013) se determinó que los niveles de concentración del cadmio en 85% de las muestras eran superiores al nivel de umbral de efecto (TEL) fijado en un máximo de 0,6 $mg.kg^{-1}$, pero inferiores al PEL (probable efecto biológico). Conviene también mencionar los hallazgos de una investigación reciente (Araujo, 2016), que estudiando las concentraciones de cadmio, mercurio y plomo en el tejido muscular y el hígado del atún aleta amarilla (Thunnus albacares) y del delfín común (Coryphaena hippurus) desembarcados en el Puerto de Manta, ubicado en la demarcación de Manabí, encuentran que la mitad de las muestras musculares de ambas especies presentan niveles de Cd y Hg por encima de los límites seguros para consumo humano establecidos por la Unión Europea (CISPDR, 2017).

Mercurio

En cuanto a la demarcación hidrográfica Puyango-Catamayo, el estudio del Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research (CISPDR, 2017) indica que, en la parte sur, los principales indicadores de contaminación detectados son los coliformes totales, coliformes fecales y el mercurio. Hallazgo éste nada raro, puesto que en esta demarcación se encuentran las minas de oro de Zaruma y Portovelo con sus emisiones de cianuro y mercurio sobre el Río Amarillo y todo el sistema fluvial con él relacionado. La gravedad de este problema ha sido bien documentada por la investigación ecosistémica realizada por Guimaraes, con su demostración de que esta actividad emite anualmente alrededor de 0.65 t de mercurio inorgánico y 6,000 t de cianuro de sodio, más metales como plomo, manganeso y arsénico procedentes de la roca, que terminan reduciendo significativamente la biodiversidad aguas abajo, depositando metales en sedimentos y biota e, incluso, exponiendo la fauna costera (también al camarón de cultivo) a los peligros de la biometilación mercurial (Guimaraes, 2011).

Una reciente investigación, referida a la contaminación de peces por mercurio en los ríos andinos de la Amazonía en tres cuencas hidrográficas en Ecuador y Perú (Webb, 2015) da cuenta, en cambio, de la emisión de mercurio que, en ausencia de extracción de oro, represas hidroeléctricas y deforestación, sólo podría ser relacionada con la actividad petrolera. La determinación de niveles de mercurio en la variedad no migratoria de pez Hoplias malabaricus como bioindicador, reveló ser más alta en los peces del Río Corrientes, perteneciente a la demarcación hidrográfica de Pastaza, cerca del sitio de un derrame de petróleo, en comparación con

los otros dos ríos estudiados. En forma complementaria a este estudio los mismos autores realizaron otro consistente en determinar los niveles de mercurio en orina en indígenas del lado ecuatoriano y peruano de la frontera, que viven cerca de los sitios de producción o conducción de petróleo, y encontraron que si bien sus niveles están dentro del estándar sugerido por la Organización Mundial de la Salud, éstos eran significativamente más altos en hombres involucrados en la remediación del derrame de petróleo y en las mujeres que dependen del agua de superficie para las necesidades del hogar, lo cual sugiere su exposición al mercurio por contacto directo con el petróleo derramado, en el primer caso, y con el consumo de agua contaminada, en el segundo.

Cromo

El previamente citado estudio de las aguas del Río Daule (Huayamave, 2013) determinó valores promedio de cromo superiores al umbral de efecto (TEL) en las estaciones de Balzar y Palestina. Otra investigación, realizada en la provincia de Esmeraldas (Correa, 2015) con el objetivo de determinar el contenido de metales en aguas, sedimentos y peces en la Cuenca del Río Santiago, Provincia de Esmeraldas, durante la estación seca, determinó que los valores de aluminio, cobre, hierro, manganeso y plomo en agua superan los Límites Máximos Permisibles (TULSMA), en todas las estaciones de muestreo. De igual manera, los metales en sedimentos dieron como resultados valores de cobre, cromo, hierro, manganeso y cinc que superan los valores estimados en los bioensayos para la evaluación de la toxicidad en sedimentos descritos en NOAA.

Un estudio realizado en la Provincia de Tungurahua, que concentra sobre varios de sus ríos la actividad de numerosas curtiembres, reveló que, en las descargas de una sola de ellas, los valores de Cromo (VI) sobrepasan enormemente el límite permitido por la normativa ecuatoriana (TULAS) de 0,5 mg/L. En efecto, en las 16 muestras tomadas entre mayo y agosto de 2009, los valores fluctuaron entre 52,3 y 392,9 mg/L, es decir, un promedio de 160,34 mg/L.

Nitratos

Análisis del agua del Río Guayas en el tramo correspondiente a la ciudad de Guayaquil, realizados por la Empresa Cantonal de Agua Potable y Alcantarillado, establecieron que el nivel de nitrógeno total –que mide su capacidad de nitrificación a nitritos y nitratos – superan el límite permisible de 1,2 mg/l, en todos los ocho puntos de muestreo, tanto en marea alta (valores entre 2 y 3 mg/l), como en marea baja (valores entre 2 y 4 mg/L). Un estudio realizado por la Secretaría Nacional del Agua (Guzmán, 2010) permitió, a su vez, identificar la presencia de nitratos (N-NO3) en niveles que alcanzaron 86,48 mg/l en el agua utilizada en el sistema de riego El Mate proveniente del Río Daule.

Nitritos

En el estudio de las aguas del Río Daule (Huayamave, 2013) también se determinó para el ion nitrito valores que van desde no detecciones hasta 0,20 mg/L, los cuales se encuentran dentro de los límites permisibles por la legislación ecuatoriana.

Contaminantes orgánicos

En el marco del Proyecto EcoSalud Cayambe-Ecuador (CEAS/SIPAE, 2014) se realizó el monitoreo de la calidad del agua de la cuenca del Río Granobles, que provee fundamentalmente para el riego de 2.180 ha de suelo dedicado al cultivo de papa, de maíz, flores cortadas, trigo, cebada, otros granos y algo de pastizales. En este estudio se detectó la presencia de ftalatos que son usados en la producción de plástico y, en algunos casos, como pesticidas. En cerca de 50% de 70 muestras analizadas entre 2004 y 2009 se ha detectado presencia de organoclorados como Endosulfán y DDT; organofosforados como Malatión en todo el recorrido de la cuenca, y Diazinón entre los más frecuentes; carbamatos tan tóxicos como el Carbofurán; y también ftalatos, grasas y otros productos. La presencia de sulfuros, ftalatos y grasas es casi una constante. Los ftalatos hablarían de la enorme contaminación de plásticos en la zona. También se constató presencia de Carbofurán y Difeconazolle en muestras de leche de vaca (CEAS/SIPAE, 2014).

Un estudio de rastreo de organoclorados y organofosforados (no se planificó análisis de carbamatos) en muestras de suelo y agua en la cuenca del Río Tenguel, en los aledaños de plantaciones de banano (Proano, 2007), reveló presencia de Lindano en cinco (55,6%) de las nueve muestras, con variación de entre 0,014 y 0,322 ppb; también Clorota-

lonil en dos de las muestras y Endosulfán en una. No se detectaron rastros de organofosforados en las muestras de agua.

De la discusión de los resultados obtenidos para las muestras de agua del Río Daule en su estudios, Huayamave (2013) saca en conclusión que los organoclorados fueron detectados en 53,3% de los muestreos realizados y que de los 23 organoclorados analizados, 9 tipos de ellos se detectaron: 1,2–dichloro-4-isocianato-benzene detectado en 31%, 4,4-DDD en 19%, aldrina, metoxychlor y endosulfán-sulfate cada uno de ellos en 1,7%, el dieldrín, phenamiphos, Heptachlor, HCH-Delta en concentraciones de 0,83%. Destaca que en el muestreo del 3 de agosto de 2011 se determinó una concentración de organoclorados totales de 16,040 $\mu g.L^{-1}$, que está por el límite de los 10 $mg.L^{-1}$ de organoclorados totales establecidos como máximo en la legislación ecuatoriana. En cuanto a los pesticidas organofosforados señala que fueron detectados sólo en tres ocasiones y que, de los 23 organofosforados analizados, dos de ellos fueron determinados: el azinphos methyl y azinphos ethyl en concentraciones de 0,373; 0,373 y 0,378 $\mu g.L^{-1}$, dosis inferiores a lo máximo establecido por la normativa ecuatoriana.

En la provincia interandina de Cañar, zona de preponderante actividad agrícola, florícola y ganadera, se realizó recientemente un importante estudio de la calidad del agua del Río Burgay para establecer la contaminación difusa que recepta el río por la presencia de plaguicidas y el riesgo toxicológico asociado (Pauta, 2014). En algunas estaciones de monitoreo de fuentes destinadas a abastecimiento humano superaron las concentraciones permitidas por la Normativa Ecuatoriana Tulas para organofosforados y organoclorados. El monitoreo realizado en siete puntos de muestreo entre febrero y noviembre de 2013 determinó presencia de organoclorados: Lindano 14,7 ppm, Cisheptaclorohepóxido 13,1 ppm, pp-DDE 22,6 ppm en uno de los puntos; pp-DDE 61,7 ppm en otro; y Profenofos 592 ppb en uno más. También se encontró en otros puntos de muestreo la presencia de organofosforados como Diazinón y los siguientes organoclorados: d.-HCH, Aldrina, a- Endosulfán, b-Endosulfán, Endosulfán Sulfato, y Lindano; también, BHC. Los más frecuentemente encontrados, en todas las estaciones, aunque en diferentes momentos muestrales, fueron el Lindano y el delta hexacloro (Pauta, 2014).

Asimismo, en un estudio realizado en los ríos Arenal y Junquillo (Tapia, 2013), provincia de Los Ríos, en las desembocaduras de los canales de dos plantaciones de banano, se compararon los niveles de organofosforados, organoclorados y carbamatos en el agua de los ríos señalados, entre el antes y después de las aerofumigaciones. Los análisis revelaron que mientras estos pesticidas previamente a las fumigaciones mostraban niveles por debajo de los límites permitidos por la legislación ambiental ecuatoriana, luego de ellas se elevaban notablemente. Así, en el Río Arenal la concentración de organoclorados superaba en ocho puntos el límite permisible, la de organofosforados en cinco y los carbamatos superaban el límite de <0,02 a nueve. En el Río Junquillo, seis y siete puntos por encima para organoclorados y organofosforados, respectivamente, y de <0,02 a 7 los carbamatos.

Finalmente, un muestreo de la calidad del agua realizado en época de lluvias en 16 puntos distribuidos en las cuatro zonas hidro-sociales del Plan Provincial de Riego de la provincia del Carchi (CEAS/SIPAE, 2014), principal productora de papas en el país pero además con gran desarrollo de la actividad florícola en los últimos años, mostró que diez de las 16 muestras tenían contaminación por carbamatos: siete por Carbofurán, insecticida y nematicida de uso prohibido, dos con Carbaril y una con Metomil.

Radionúclidos

Estroncio

Estudios con radionúclidos son poco frecuentes en Ecuador. Vale resaltar el trabajo realizado por Mena (2016) en el que se encontró concentraciones de estroncio en camarones de río de la especie *Macrobrachium brasiliense* en rangos entre 777,8 $\mu g.g^{-1}$, en el Río Due a 1.586,1$\mu g.g^{-1}$ en el Río Conde, en la Amazonía Ecuatoriana.

Calidad del agua para consumo humano y servidas

Contaminantes biológicos

La metodología empleada en las evaluaciones de la calidad de agua realizadas por las instituciones locales que proveen agua para tomar en el país es heterogénea y, en algunos casos, no concuerda con

las evaluaciones realizadas por organismos gubernamentales nacionales o instituciones académicas.

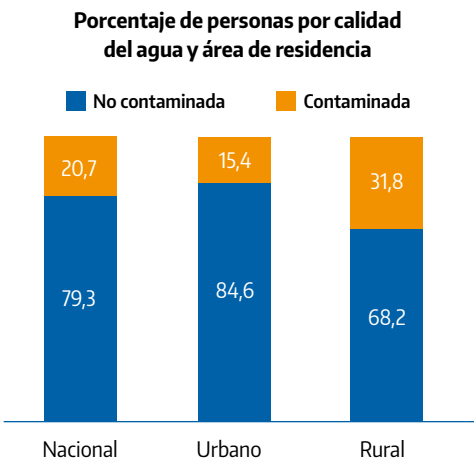
La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) del Distrito Metropolitano de Quito mantiene la certificación de la calidad de agua mediante muestreo y análisis externo con SGS DEL ECUADOR. El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) otorgó el sello de calidad INEN en 2015, el cual se mantiene con auditorías periódicas. De acuerdo con estas evaluaciones, la EPMAPS en 2016 registró un índice de 99,7% de calidad del agua (EMAPS, 2016). De acuerdo con los 11 reportes mensuales sobre la calidad microbiológica del agua potable de EPMAPS para el año 2017, no se reporta la presencia de coliformes fecales mayor o igual a 1 NMP/100ml (EMAPS, 2017). Sin embargo, es necesario mencionar que el agua cruda de la que se abastecen algunas de las plantas de tratamiento alcanza niveles altos de coniformes fecales como, por ejemplo, durante el mes de noviembre se reportó la presencia de 140.345 NMP/100ml y 134.045 NMP/100ml coliformes fecales para las aguas crudas previo a su ingreso a las plantas de tratamiento de agua para tomar de Guayllabamba y Yaruquí, respectivamente (EMAPS, 2017; EPMAPS, 2017). Es necesario mencionar que niveles mayores a 1.000 NMP de coliformes fecales por cada 100ml de agua ni siquiera son aceptables para efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, según las Guías 2012 para el Re-uso de Agua de la Agencia Estadounidense para la Protección del Ambiente (USEPA) (USEPA, 2012).

En cuanto al agua potable de la ciudad de Guayaquil, según el informe de International Water Services (Guayaquil) Interagua C Ltda., remitido para el periodo comprendido entre agosto de 2016 y julio de 2017, las plantas Convencional, Lurgi y 10MCS, así como el agua de las redes, dieron informes 100% "conformes" para coliformes fecales y totales en todos los meses (INTERAGUA, 2017).

Medición de los indicadores de los Objeticos del Desarrollo Sostenible (ODS) de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH), publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), determinó la calidad del agua a nivel nacional mediante test de ausencia-presencia de E. coli. Según este estudio, 20,7% de la población a nivel nacional consume agua contaminada con *E. coli.* Al analizar los resultados por área rural o urbana, 15,4% de la población urbana y 31,8% de la población rural consumen agua contaminada con este microorganismo (**Figura 5**) (INEC, 2017).

A pesar de los datos reportados, según un estudio de percepción realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en junio de

Figura 5. Medición de los indicadores de los Objeticos del Desarrollo Sostenible (ODS) de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH) publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)



A nivel urbano 15,4% del agua está contaminada, por ello 28,6% es agua embotellada

Porcentaje de personas que beben agua contaminada por tipo de suministro

Tipo de suministro de agua	Nacional	Urbano	Rural
Red pública / Llave pública	55,1	64,1	45,8
Otra fuente por tubería	11,2	-	19,8
Pozo protegido / entubado	6,3	-	12,0
Agua embotellada / envasada	17,8	28,6	-
Otras*	-	-	-
Total	100	100	100

Fuente: Encuesta ENEMDU diciembre de 2016. *Otras incluye: Pozo no protegido, manantial / vertiente protegido, manantial / vertiente no protegido, carro repartidor / tanquero, agua de lluvia / otro y río o acequia.

Tabla 1. Posibles virus contaminantes en aguas de Ecuador

Agente	Patología	Reservorio	Agua como vehículo	Análisis en agua potable país	Detectados en agua para tomar país	Casos humanos país
Rotavirus	Gastroenteritis	Humano, Animal (Da Silva, 2016; Rusinol,2017)	Sí (Da Silva, 2016; Rusinol, 2017)	No		Sí (Bhavnan, 2012; Levy, 2012; Vasco, 2014)
Astrovirus	Gastroenteritis e Infección Respiratoria Aguda	Humano (Da Silva, 2016; Rusinol,2017)	Sí (Da Silva, 2016; Rusinol, 2017)	No		Se desconoce
Norovirus	Gastroenteritis	Humano	Sí (Katayama, 2017)	No		Sí (Vasco, 2014)
Hepatitis A	Hepatitis	Humano	Sí (Van der Poel, 2017)	No		Sí (MSP, 2017)
Hepatitis E	Hepatitis	Humano, Animal	Sí (Van der Poel, 2017)	No		Se desconoce
Coxsackie virus	Gastroenteritis, Infección Respiratoria Aguda, Enfermedad pie mano cara, Meningitis, Infección cardiaca, Neuropatía periférica	Humano	Sí (Rusinol, 2017)	No		Se desconoce
Enterovirus	Gastroenteritis, Infección Respiratoria Aguda, Enfermedad pie-mano-cara, Meningitis, Infección cardiaca, neuropatía periférica	Humano	Sí (Rusinol, 2017)	No		Se desconoce
Polioviruses	Poliomyelitis	Humano	Sí (Betancourt, 2016)	No		Ningún caso asociado con el virus salvaje desde 1990
Adenoviruses	Gastroenteritis e Infección Respiratoria Aguda	Humano	Sí (Allard, 2017)	No		Se desconoce
Echoviruses	Gastroenteritis, infección respiratoria aguda, meningitis y hepatitis	Humano	Sí	No		Se desconoce

2012, Cuenca es reconocida como la ciudad con mejor calidad de agua del país y, en general, 66.5% de los ecuatorianos declaró que no confía en la calidad del agua que consume (INEC, 2012).

Virus

Debido a las limitaciones del país por costos y tecnología para la detección de virus en muestras ambientales, la información en cuanto a contaminación del agua por agentes virales es nula o escasa. Una de las alternativas para superar esta limitante puede ser el uso de bacterias modificadas por ingeniería genética y que son susceptibles de ser lisadas por virus fagos, siendo los más usados los colifagos bacteriófagos que específicamente lisan *E. coli.* En un estudio realizado en la costa noreste del país, se consideraron 125 poblados de la región de Borbón en Esmeraldas, un área en que la infraestructura sanitaria es mínima. Las poblaciones reportaron que 40% utiliza una letrina, y 60% dispone de las excretas en el campo o los ríos, siendo muchos de estos ríos la fuente primaria de abastecimiento de agua

para tomar. La fuente de agua en las comunidades es abastecida por agua superficial de los ríos, agua entubada, de pozo o de lluvia. En este estudio se detectó un promedio geométrico entre 91 u 125 Unidades Formadoras de Colonia (UFC) (Levy, 2012). En estudios poblacionales realizados en el país, el rotavirus ha sido asociado con la enfermedad diarreica aguda y, en menor frecuencia, se ha detectado Norovirus (Vasco, 2014). Los virus de la Hepatitis A y E han sido detectados en las aguas superficiales de los ríos, especialmente relacionado con una ausencia casi total de sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas y con vertidos de fincas de cría de cerdos u otro tipo de animales. Si bien no se cuenta con un monitoreo de la presencia de este virus en las aguas superficiales, muchos de los 3.453 casos detectados de esta enfermedad en Ecuador durante 2016 están relacionados con aguas no potabilizadas o alimentos contaminados con estos virus (MSP, 2017).

Bacterias

Eschericha coli

En un estudio realizado en siete comunidades localizadas en el noreste del Ecuador, en las orillas de los ríos Santiago, Cayapas y Onzole, se reportaron los siguientes hallazgos en viviendas que recolectaron agua de río o entubada para ser consumida y que no tuvieron ningún tratamiento luego de 24 horas de ser almacenadas. Los resultados de las muestras al momento de ser tomadas en la fuente de agua (de río o entubada), y luego de 24 horas de almacenamiento en la vivienda, reportaron una media geométrica del NMP de *E. coli* por 100 ml (95% IC) de 111.4 (57.4-216.1) y 121.5 (67.9-217.2), respectivamente. Por lo tanto, 13.6% de las muestras tomadas en la fuente y 9.1% de las muestras tomadas en las viviendas luego de 24 horas de almacenamiento reportaron <1 NMP/100mL *E. coli.* De estos resultados se deduce un alto porcentaje de contaminación por *E. coli* del agua para tomar en áreas rurales, problema que se incrementa por la posible contaminación debida a malas prácticas de almacenamiento en las viviendas (Levy, 2014). En otro estudio realizado en la misma área geográfica de estos tres ríos que sirven de fuente de agua para las comunidades de la zona, se observó una evidente heterogeneidad en la calidad microbiológica de las aguas dependiendo especialmente de la distancia desde la orilla. La concentración logarítmica 10 de *E coli* disminuyó 2% por cada metro de distancia desde la orilla. Las muestras de agua tomadas en el área correntosa del río tuvieron concentraciones de 0.12 Log 10 menores que las aguas de los vados del río; igualmente, las aguas a distancias mayores de 6 metros tuvieron concentraciones de 0.27 log 10 menores que aguas de la orilla. Estos hallazgos evidencian el efecto de la distancia de la orilla, velocidad y turbulencia del agua sobre las concentraciones microbiológicas (Rao, 2015). Agentes patógenos bacterianos como *Salmonella typhi* y que están relacionados con contaminación de aguas y alimentos, no son monitoreados por los sistemas de potabilización del agua, sin embargo, muchos de los 1.253 casos detectados de esta enfermedad en Ecuador durante 2016 están relacionados con agua contaminada o con alimentos (MSP, 2017).

Helicobacter pylori

Ecuador presenta la segunda tasa más alta de mortalidad por cáncer gástrico en las Américas con una tasa de Mortalidad Estandarizada por Edad (MEE) de 15.6 por cada 100.000 habitantes. En cuanto a la incidencia de cáncer gástrico, Ecuador tiene una tasa de 16.9 casos anuales por 100.000 habitantes, solamente superado por Guatemala, Honduras y Costa Rica (Ferlay, 2015). Estas altas tasas han sido asociadas con la altura sobre el nivel del mar, aunque se desconoce en qué medida esta asociación está además determinada por factores socioeconómicos, genéticos, dietéticos o ambientales, infraestructura de agua y saneamiento (Torres, 2013). La presencia de la bacteria *Helicobacter pylori* ha sido descrita como el factor crítico para ocurrencia del cáncer gástrico; es por esto que ha sido categorizada como carcinógeno del grupo 1 por la Agencia Internacional para Investigación del Cáncer (IARC, 1994). En un estudio realizado por los autores se observó prevalencias de *H. pylori* de 72.2% en la población de Ecuador y 54.1% en la de Panamá (Sasaki, 2009). De estos pacientes, el gen CagA fue identificado en 45.9% de muestras ecuatorianas y 20% de muestras panameñas. Estos datos son importantes ya que los pacientes pueden permanecer asintomáticos y presentar la infección con el gen CagA que representa un alto riesgo de cáncer gástrico (Sasaki, 2009). Estos datos se correlacionan con los reportes de cáncer de estómago que en el Ecuador son de 17.4% y en Panamá de 11.1%. Futuras investi-

Tabla 2. Posibles bacterias contaminantes en aguas de Ecuador

Agente	Patología	Reservorio	Agua como vehículo	Análisis en agua potable país	Detectados en agua para tomar país	Casos humanos país
Campylobacter spp.	Gastroenteritis	Humanos, Animal	Sí (Pitkanen, 2017)	No		Sí
Escherichia coli	Gastroenteritis	Humanos, Animal	Sí	Sí	Sí (Levy, 2009 y 2014; Rao, 2015)	Sí
Helicobacter pylori	Gastritis, Cáncer Gástrico	Humanos	Si (Goodman, 1996; Hulten, 1996; Zhang, 1996; Sasaky, 1999; Brown, 2000) Sí (servidas) (Goodman, 1996; Hegarty, 1999; Sasaky, 1999)	No		Sí (Sasaki T 2009, Torres J 2013, Ferlay J 2015)
Legionella spp.	Neumonía, gastroenteritis	Acuático	Sí	No		
Leptospira spp.	Fiebre hemorrágica	Acuático (Izurieta, 2008; Barragan, 2011; Chiriboga, 2015); Suelo, Animal (Barragan, 2016)	Sí 3 (Barragan, 2011)	No		Sí (Chiriboga, 2015; Barragan, 2016)
Salmonella spp.	Gastroenteritis	Humanos, Animal	Sí (Liu, 2018)	No		Sí (Vasco, 2014; MSP, 2017)
Shigella spp.	Gastroenteritis	Humanos	Sí (García-Aljaro, 2017)	No		Sí (García-Aljaro, 2017)
Vibrio cholera	Gastroenteritis con diarrea acuosa	Acuático (estuarios) Aguas servidas 37	Sí (Weber, 1994; García, 2012)	No		Sí (Weber, 1994)
Yersinia enterocolitica	Gastroenteritis	Animales (Bottone, 2015)	Sí (Bottone, 2015)	No		

gaciones deben ir enfocadas a determinar el tipo de gen con mayor prevalencia involucrado en el cáncer de estómago (Sasaki, 2009). La presencia de *H pylori* en agua ha sido ya descrita en varios estudios (Brown, 2000). Lo que es más: *H pylori* puede vivir en agua por varios días en su forma bacilar infecciosa (Brown, 2000). Los estudios realizados en Colombia, China y Perú soportan la caracterización de la infección por *H pylori* como una infección transmitida por agua (Klein, 1991; Goodman, 1996; Zhang, 1996). La posible contaminación de alimentos irrigados por aguas servidas también estaría soportada por los hallazgos de los estudios epidemiológicos moleculares, usando técnicas de PCR, realizados en Perú y Japón, en los cuales se detectó esta bacteria en aguas de desecho (Hazell; 1994; Westblom, 1997; Sasaky, 1999). En estudios realizados en Pensilvania y Ohio, *H. pylori* fue aislada en su forma activa en muestras de aguas superficiales y subterráneas (Hegarty, 1999). Así como se ha observado con otras bacterias, *H. pylori* puede formar biofilmes en las paredes de los ductos de agua, siendo éste un aspecto crítico en la supervivencia bacteriana en el agua y en otros ambientes con la finalidad de prevenir la diseminación de este patógeno y su tratamiento en el huésped humano (García, 2014).

Leptospira

La leptospirosis es causada por bacterias en forma de espiral de la familia *Leptospiraceae* y del gé-

nero *Leptospira*. Estas bacterias son espiroquetas largas, delgadas y móviles que pueden ser de vida libre en el medio ambiente o parásitos en los huéspedes animales. Estas bacterias requieren ambientes húmedos para sobrevivir, pudiendo hacerlo en fuentes de agua dulce contaminadas (lagos, estanques y vados de los ríos) y en ambientes fangosos durante muchos meses (Izurieta, 2008). En un estudio para detectar *Leptospira spp* DNA en pacientes febriles de zonas urbanas y rurales de Ecuador, se reportó una prevalencia de 64% en zona rural, 25% en zonas semiurbanas y 21% en zonas urbanas. El porcentaje de cepas intermedias fue mayor (96%) que las cepas patogénicas (4%) (Chiriboga, 2015). En otro estudio similar hecho en pacientes febriles de la zona rural de la Provincia de Manabí, los porcentajes de prevalencia de DNA de leptospiras patogénicas fueron mayores, con una variación de 9.5 a 17.3% (Barragan, 2016). En estudios ambientales, bacterias aisladas de ríos de la provincia de Napo en la Amazonía Ecuatoriana mostraron su capacidad de mantener la viabilidad de *Leptospira biflexa* y *Leptospira meyeri* en agua destilada hasta por un año (Barragan, 2011).

Cólera

En 1991, Ecuador fue uno de los países latinoamericanos que experimentaron el impacto de la introducción de *Vibrio cólera* en el continente. El 28 de febrero de 1991 se reporta el primer caso de la enfermedad en la zona costera sur del país, extendiéndose la epidemia en cuestión de semanas hacia las zonas Andina y Amazónica. Es importante mencionar que, a pesar de confirmación de la presencia de *V. cholerae* patogénico en muestras de pacientes afectados, los cultivos de muestras de agua siempre dieron resultados negativos. Esta incongruencia en el aislamiento del *vibrio* entre muestras clínicas (**Figura 6A**) y muestras ambientales se explicaría unos pocos años más tarde cuando se demuestra que *V cholerae* entra en un estado de pseudo-esporas que mantienen su viabilidad, pero que no pueden ser cultivadas (Colwell, 1994). Sin embargo, estas pseudo-esporas de *V. cholerae* son fácilmente observables en muestras de aguas contaminadas al hacerlo bajo un microscopio de inmunofluorescencia (**Figura 6B**).

A pesar de las dolorosas secuelas por las numerosas muertes que dejó la epidemia de cólera en el país, muchos avances en cuanto a la calidad del agua se deben a las medidas tomadas en ese momento por la población y los gobiernos locales y nacionales. La ausencia de niveles de cloro no adecuados, la existencia de conexiones de agua clandestinas, bajas presiones de agua que posibilitaban la intrusión de agua, fueron algunos de los factores asociados con la presencia de *Vibrio cólera* en el agua para tomar (Weber, 1994). El país ha hecho sustan-

Figura 6A. *Vibrio cholerae* cultivado de muestras de heces de paciente. Figura 6B: *Vibrio cholerae* no cultivable en muestras de agua detectado por inmunofluorescencia. Estudio realizado por el Dr. Ricardo Izurieta en los Laboratorios de Microbiología de la Universidad de Maryland, College Park (Izurieta, 2006)

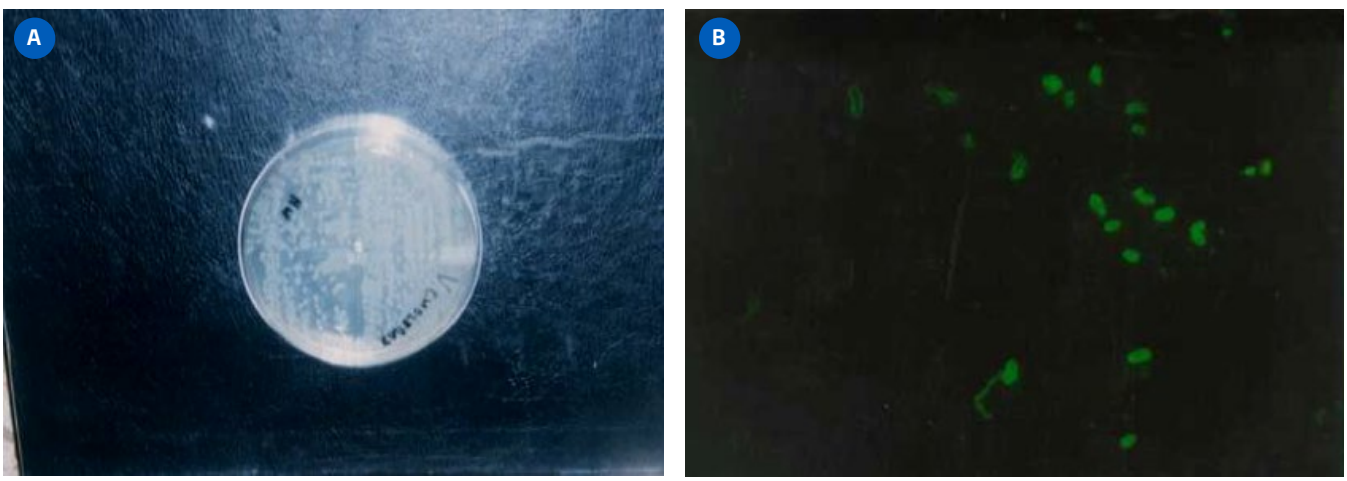


Tabla 3. Posibles parásitos y algas contaminantes en aguas de Ecuador

Agente		Patología	Reservorio	Agua como vehículo	Análisis en agua potable país	Detectados en agua para tomar país	Casos humanos país
Protozoos	*Criptosporidium* spp	Diarrea crónica	Animal, Humanos	Sí (Palacios, 2017)	Eventualmente	Sí (Palacios, 2017)	Sí (Sempertegui, 1995; Jacobsen, 2007)
	Giardia doudenalis	Dolor abdominal	Humanos, Animal	Sí (Palacios, 2017)	Eventualmente	Sí (Palacios, 2017)	Sí (Sempertegui, 1995; Palacios, 2017)
	Entoameba histolitica	Disentería, absceso hepático	Humanos	Sí	No		Sí (Cooper, 1994; Sempertegui, 1995)
	Balantidium coli	Gastroenteritis	Humanos, Animal	Sí	No		Sí (Sempertegui, 1995; Jacobsen, 2007; CEPAL/GIZ, 2012)
Metazoos	Geo helmintos	Síntomas gastrointestinales, desnutrición	Suelo	Sí (Molleda-Martínez, 2016)	No		Sí (Reyes, 2012; Preciado, 2015)
Algas	Cianobacterias	Intoxicación	Acuático (Morales, 2013; Guamán, 2016)	Sí (Guamán, 2016)	No	Sí (Guamán, 2016)	Sí (Weirich, 2014)

ciales avances en las coberturas y calidad de agua para tomar, sin embargo, varias poblaciones rurales y periurbanas todavía carecen de fuentes seguras de abastecimiento de agua. La grave falencia del sistema de excretas fue igualmente evidenciada durante esta epidemia de cólera. En una de las pequeñas ciudades de la zona Andina, numerosos casos de cólera fueron reportados por la contaminación del rio que cruza la ciudad, causado por la eliminación de excretas no tratadas adecuadamente por parte del hospital donde los pacientes de cólera estaban siendo atendidos (Izurieta, 2006). En 1998 se reporta que apenas 5% de los efluentes de aguas de alcantarilla en Ecuador tuvieron algún grado de tratamiento previo a su descarga (OMS/OPS, 2001; Mora-Alvarado, 2003). No existen datos actualizados sobre el porcentaje de aguas servidas que son tratadas adecuadamente por los sistemas locales y municipales de alcantarillado en el país, previo a su descarga en ríos, lagunas, lagos y mares. La epidemia de cólera en el Ecuador a principios de la década de 1990 fue decisiva para sensibilizar a las estructuras de administración gubernamental sobre la necesidad de mejorar la calidad de agua para tomar e incrementar las coberturas de saneamiento, aunque los avances en tratamiento de las excretas han sido nulos o mínimos. Es además preocupante que la incidencia de enfermedades diarreicas agudas haya aumentado sucesivamente, incluso durante la primera década de este siglo. Esto puede ser un presagio de otra epidemia inminente. Por lo tanto, es imperativo investigar el aumento evidente de las enfermedades diarreicas para reforzar las medidas preventivas de salud pública que se implementaron con éxito para controlar la epidemia de cólera de la década de 1990, adicionalmente a nuevas recomendaciones (Malavade, 2011).

Protozoos

En el caso de los protozoos, su presencia se ha estudiado principalmente en heces fecales. Sin embargo, estudios puntuales como el realizado en la provincia de Azuay, en el cantón San Fernando, en el agua destinada a consumo humano (Palacios, 2017) se detectó, en el caso de *Cryptosporidium spp.,* la presencia de 5 ooquistes/100 ml de agua, y que para el caso de *Giardia lamblia,* se detectó la presencia de 10 quistes/100 ml de agua.

Giardia

En un estudio comparativo entre niños que eran cuidados en sus hogares *versus* niños que eran cuidados en guarderías infantiles, *Giardia* spp fue el segundo agente más frecuentemente asociado con enfermedad diarreica con una incidencia promedio de 11.74 episodios por 1000 semanas-niño (Sempertegui, 1995). En un estudio realizado en la provincia de Azuay, en el cantón San Fernando, en el agua destinada a consumo humano (Palacios, 2017) se encontró, al analizar la presencia de *Giardia lamblia,* en promedio 10 quistes/100 ml de agua.

Cryptosporidium

En el mismo estudio comparativo entre niños cuidados en guarderías y en sus hogares, la incidencia de diarrea asociada a *Cryptosporidium* spp fue de 1.52 y 1.28 episodios, respectivamente (Sempertegui, 1995). En estudios microbiológicos ambientales, *Cryptosporidium* spp ha sido aislado de aguas superficiales. Al analizar 14 muestras de aguas no tratadas de las cuencas hidrográficas del área de Quito, oocystes de este parásito fueron identificados en 5 de las muestras (Kato, 2003). En el estudio anteriormente mencionado, realizado en la provincia del Azuay, se detectó la presencia de 5 ooquistes de *Cryptosporium* spp. por cada 100 ml de agua para consumo humano (Palacios, 2017).

Otros protozoos

Otros protozoos asociados con diarreas en niños son *Entamoeba hystolitica, Chylomastix mesnilii y Blastocystis hominis* (Sempertegui, 1995; Jacobsen, 2007).

Helmintos

En un estudio sobre calidad del agua en la provincia de Esmeraldas, se detectó la presencia de huevos de helmintos en el estuario y en el Río Atacames. Durante los muestreos de agua que se realizaron durante los meses de julio a diciembre de 2013, se observó concentraciones que variaron de 500 a 2000 huevos por litro de agua. Los huevos de helmintos aislados correspondieron a las especies *Coccidio* sp, *Hymenolepis* sp, *Trichuris* sp, *Ascaris* sp, *Oxiuros* sp, *Trichostrogylus* sp, *Taenia* sp y *Ancylostomas* sp. Estas altas concentraciones se deberían a la falta de un sistema de alcantarillado, a la carencia de un sistema de depuración de aguas residuales y a la presencia de descargas directas con contenido orgánico al río. Los riesgos para la salud de la población del área son altos, pues los pobladores hacen uso directo del agua de este río (Molleda-Martínez, 2016).

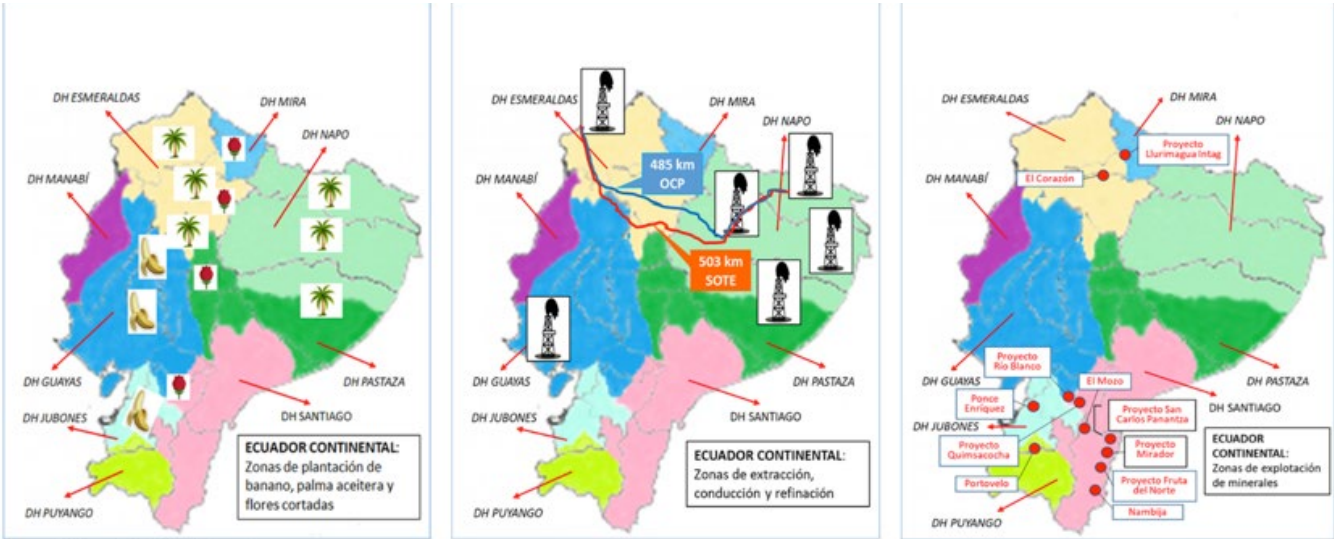
Contaminantes químicos

De acuerdo con el Sistema Automático de Manejo de Información del Agua de la Ciudad de Quito, en su informe de abril de 2016 se reporta que los siguientes parámetros físico-químicos cumplen la norma establecida: color, cloro libre residual, turbidez, As, nitratos, fluoruros, Cr, nitritos, benzopireno, cianuros, Hg, Cd, Cu, DDT y metabolitos, Ni, bromodiclorometano, tolueno, 1-2 dicloroetano, lindano, xileno, cloruro de vinilo, benceno, micorsystin-lr, aldrín, dieldrín, 1-2 dibromoetano, dimetoato, tetracloroetano, cloropyrifos, estireno, tricloeteno, endrín, antimonio, Pb, Se, clordano y Ba. Se desconoce de qué planta de tratamiento provino la muestra para el análisis y si ésta fue tomada aleatoriamente.

Arsénico

En el año 2004, la población de la Parroquia Tumbaco, del Cantón Quito, denunció conocer que el agua de consumo humano contenía arsénico por encima del valor de tolerancia establecido por la norma ecuatoriana (García, 2012), lo que obligó en 2005 a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q) a realizar el "Monitoreo especial de arsénico de las fuentes rurales del Distrito Sur y Centro Oriental", operados por dicha empresa. Los resultados del monitoreo llevaron a recomendar la prohibición del uso de esas fuentes debido a los altos niveles de arsénico encontrados y a analizar las aguas de la red de distribución de Tumbaco y Guayllabamba, parroquias cuya agua potable proviene de esas fuentes. El año 2007, la EMAAP-Q recogió 116 muestras de la red de distribución domiciliaria de estas dos parroquias y determinó que en 39 de ellas (33,6 %) el arsénico sobrepasaba el límite permisible (EMAPQ, 2007). Entre las muestras de Tumbaco hubo unas con hasta 10 veces por encima y en Guayllabamba con hasta tres veces por encima del límite. No obstante que en el país se deben reconocer niveles ambientales mayores de arsénico asociados a la actividad volcánica, en este caso cabe la hipótesis de que podrían ser causados por el mal manejo de desechos y emisiones industriales. Es necesario señalar que los sis-

Figura 7. Demarcaciones demográficas y fuentes de contaminación, Ecuador, 2017



temas hídricos (tanto superficial como profundo) de las dos poblaciones están principalmente incididos desde hace más de tres décadas por la actividad agroindustrial (florícola y frutícola, sobre todo), de modo que su contaminación podría asociarse con los aditivos arsenicales comúnmente incorporados a pesticidas, herbicidas y fertilizantes. A la larga, la empresa de agua potable decidió instalar en Tumbaco plantas de tratamiento para captura de arsénico que no funcionaron bien, lo que obligó a clausurar dos pozos y administrar agua potable segura proveniente de otras localidades.

Calidad de aguas descargadas por las industrias manufacturera y agrícola

Usando la metodología de caracterización de Pfafstetter, la Secretaría Nacional del Agua del Ecuador (SENAGUA) ha propuesto la organización de sus 137 subcuencas y de los segmentos más importantes de 682 ríos principales en 9 demarcaciones hidrográficas: 6 con ríos que corren hacia el Océano Pacífico y 3 con ríos que corren hacia el Río Amazonas. Se trata, ciertamente, de una gran riqueza fluvial. La longitud sumada de todos estos ríos es de 4.593,3 km. El volumen promedio plurianual de escorrentía sumado de estas nueve demarcaciones es de 318.948,0 hm^3, o sea, tan sólo para ponerlo en términos ilustrativos –puesto que la densidad poblacional varía entra una y otra demarcación– esto equivaldría a un promedio de 0.019 hm^3 o 19.000 m^3 por año por habitante ecuatoriano. Se calcula, asimismo, que estas aguas inciden sobre 221.043,2 km^2, es decir, sobre 85,9% de la superficie del territorio continental del Ecuador. Aunque esto también varía, la relación hm^3/km^2 es más favorable en los distritos hidrográficos de la cuenca amazónica (Napo 2,0, Santiago 1,8 y Pastaza 1,4) que en los de la costa pacífica (Esmeraldas 1,3, Mira 1,1, Guayas 0,9, Puyango Catamayo 0,9, Manabí 0,7 y Jubones 0,6). Veamos a continuación, de manera esquemática, la relación de estas demarcaciones hidrográficas con los tres bloques de actividad industrial de mayor alcance y aptitud contaminante (**Figura 7**).

Lo que interesa es ilustrar que todas las demarcaciones hidrográficas ecuatorianas, con la sola excepción de Manabí, se hallan incididas por algún tipo de actividad de nivel industrial emisora de químicos potencialmente contaminantes de sus aguas.

Desde mediados del siglo pasado, la *agroindustria de exportación* ecuatoriana viene siendo parte de un modelo de producción basado en el uso de pesticidas (preferimos llamarlos agrotóxicos), impulsado desde la denominada *Revolución Verde*, que diera comienzo con el banano (década de los 50) y siguiera con la palma africana (década de los 60) y la producción de flores cortadas (década de los 80),

grupo al que se añadiría más recientemente el brócoli. A la producción de banano se dedican actualmente alrededor de 270.000 ha, a la de palma unas 260.000 y a la de flores alrededor de 6.000 ha; sumadas las tres representan una extensión de 535.000 ha de exposición a químicos y emplean 650.000 trabajadores directos. O sea que 12% de la población activa empleada en el país está ligada a la producción agroindustrial de alta demanda química. Para comprender la real dimensión del potencial contaminante actual de estas industrias sobre la población y sobre el ecosistema, es importante examinar la evolución de las importaciones de herbicidas y pesticidas. El gráfico siguiente nos informa que entre 1978 y 2008 el volumen de importación (sumados todos los productos) pasó de unos 3 millones de kg a más de 30 millones, siendo éste un incremento exponencial.

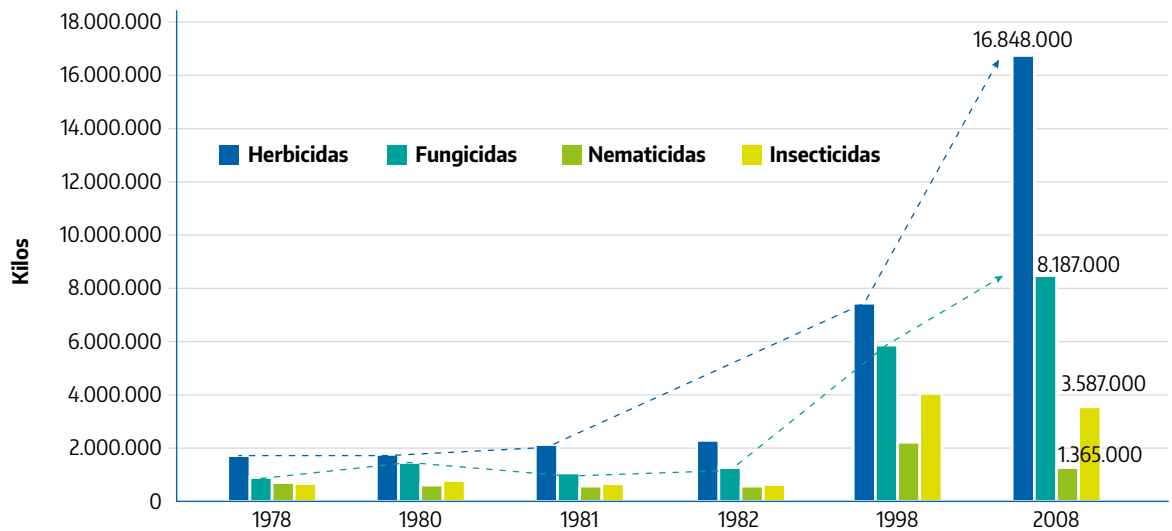
Nótese que es entre 1982 y 1998, época del inicio y crecimiento del sector de producción de flores, que se produce el quiebre de tendencia e inicia el incontenible ascenso de la importación de agroquímicos. Véase también cómo en 10 años (1998 a 2008) la importación de herbicidas creció alrededor de 125%. A su vez, la de fungicidas subió 38% y la de nematicidas y pesticidas experimentó cierto descenso. Según nuestros cálculos, la importación en 2008 correspondería a 5,1 kilos por hectárea cultivada y por año.

Políticas y normas

La Secretaría del Agua del Ecuador (SENAGUA) es la autoridad única del agua y, por tanto, posee la rectoría sobre este sector en el país. Sin embargo, la norma de calidad de aguas superficiales actualmente vigente es dictada por el Ministerio del Ambiente, a través del Texto Unificado de Legislación Secundaria (MAE, 2003). Esta norma define los parámetros y los límites permisibles de la calidad del agua para diversos usos. El Libro VI es donde se encuentran dichos parámetros y fue modificado en el año 2015 mediante los acuerdos No. 028 y No. 061. Este libro determina los criterios admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. Del mismo modo se definen los criterios para calidad del agua de vertidos urbanos e industriales y la calidad del agua para consumo humano en las fuentes (MAE, 2015a; MAE, 2015b).

La laxitud de las políticas o su no existencia, la falta de cumplimiento de las normas existentes, así como la ausencia de sanciones rigurosas de acuerdo con la magnitud de crímenes ambientales han hecho que varios de los recursos hídricos a nivel nacional estén contaminados (CEPAL/GIZ, 2012). Existe contaminación de estos recursos debido al vertimiento de aguas residuales y disposición de desechos sólidos en cuerpos de agua, así como tam-

Figura 8. Evolución de las importaciones de herbicidas y pesticidas, Ecuador 1978-2008



Fuente: MAGAP, Elaboración del autor

Figura 9. El Dr. Arturo Campaña durante la recolección de muestras de agua para estudios de calidad, en una finca florícola del Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha, Ecuador

Foto: cortesía Dr. Arturo Campaña.

bién la contaminación química del sector industrial y contaminación por agroquímicos y bio-sólidos animales por parte de granjas agrícolas y ganaderas que vierten sus desechos a ríos, lagos, lagunas y mares.

Conclusiones

Ecuador, por estar atravesado por la cordillera de los Andes, es poseedor de una extensa y abundante red hídrica. Sin embargo, muchos de estos recursos son contaminados por aguas residuales, desechos sólidos, contaminantes químicos del sector industrial, agroquímicos, y bio-solidos agropecuarios que son vertidos hacia ríos, lagos, lagunas y mares. A pesar de que a nivel nacional no existe un monitoreo sistemático de las aguas naturales superficiales y subterráneas, estudios puntuales reportan la presencia de contaminantes biológicos y químicos. Las epizootias del Virus Síndrome de Taura y del Virus de la Tilapia de Lago han afectado la producción de camarón y tilapia respectivamente. También se ha reportado la contaminación bacteriana de aguas superficiales, así como la eutrofización de embalses de agua. Al analizar la presencia de macro invertebrados acuáticos utilizando el Biological Monitoring Working Party (BMWP) se determinó que de 43 sitios estudiados en la cuenca del río Guayas, 31 están en condición crítica o muy crítica. Los principales contaminantes químicos de aguas superficiales y subterráneas son compuestos inorgánicos como Arsénico, Cadmio, Mercurio, Cromo, Nitritos y Nitratos. La presencia de metales pesados han estado asociada a actividades mineras y petroleras. Pesticidas y plaguicidas se reportan como contaminantes orgánicos principalmente provenientes de las industrias bananera, florícola, y de producción

agroindustrial de alimentos exportación no tradicionales como brócoli y palma africana.

En cuanto a la calidad del agua para consumo humano, los análisis de las plantas de tratamiento de agua para beber, en algunos casos, no concuerda con los estudios realizados por el gobierno nacional o por instituciones académicas. Las empresas municipales de agua potable generalmente no reportan presencia alguna de coliformes fecales. Sin embargo, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, al evaluar los avances de los Objetivos del Desarrollo Sostenible determinó que 15.4% de la población urbana y 31.8% de la población rural ecuatoriana consume agua contaminada con coliformes fecales. Si bien la epidemia de cólera de 1991 determino avances importantes en las coberturas de agua para beber, los avances en tratamiento de las aguas servidas han sido limitados. En el país todavía se reportan altas incidencias de enfermedades cuyo vehículo de transmisión es el agua entre otros. Entre estos patógenos se reporta rotavirus, norovirus, virus de la hepatitis A y *E, Helicobacter pylori, Leptospira spp, Giardia duodenalis, Entoameba spp, y Criptosporidium spp.* Por otro lado, puesto que Ecuador se encuentra en una zona volcánica, se ha reportado la presencia de Arsénico en aguas de pozos por encima de los limites aceptados.

En relación al marco legal, la laxitud de las políticas o su no existencia, la falta de cumplimiento de las normas existentes, así como la ausencia de sanciones rigurosas de acuerdo a la magnitud de los crímenes ambientales, han hecho que varios de los recursos hídricos a nivel nacional estén contaminados.

Referencias bibliográficas

Allard A, V.A. (2017). Adenoviruses. *Global Water Pathogens Project.* J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds.). Michigan State University/UNESCO. www.waterpathogens.org/book/rotavirus

Ambarita N, L.K.; Boets, Pieter; Everaert, Gert; Hanh-Tien, Nguyen; Forio, Marie; Liz, Sasha; Musonge, Peace; Suhareva, Natalija; Bennetsen, Elina; Landuyt, Dries; Dominguez-Granda, Luis; & Goethals, Peter (2016). *Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices.* https://www.researchgate.net/publication/291387793_Ecological_water_quality_analysis_of_the_Guayas_river_basin_Ecuador_based_on_macroinvertebrates_indices

Araujo CVM, C.-M. L. (2016). Heavy metals in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. *Sci Total Environ* 541: 149-154.

Barragan V, C.J.; Miller, E; Olivas, S; Birdsell, D; Hepp, C; Hornstra, H; Schupp, JM; Morales, M; Gonzalez, M; Reyes, S; De la Cruz, C; Keim, P; Hartskeerl, R; Trueba, G; Pearson, T (2016). High Leptospira Diversity in Animals and Humans Complicates the Search for Common Reservoirs of Human Disease in Rural Ecuador. *PLoS Negl Trop Dis* 10(9): e0004990.

Barragan VA, M.M.; Travez, A; Zapata, S; Hartskeerl, RA; Haake, DA; Trueba, GA (2011). Interactions of leptospira with environmental bacteria from surface water. *Curr Microbiol* 62(6): 1802-1806.

Betancourt WQ, S.L. (2016). Polioviruses and other Enteroviruses. *Global Water Pathogens Project.* J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds.). Michigan State University/UNESCO. http://www.waterpathogens.org/book/rotavirus

Bhavnan D, G.J.; Cevallos, W; Trueba, G; Eisenberg, JN (2012). Synergistic effects between rotavirus and coinfecting pathogens on diarrheal disease: evidence from a community-based study in northwestern Ecuador. *Am J Epidemiol* 176(5): 387-395.

Bottone, E.J. (2015). Yersinia enterocolitica: Revisitation of an Enduring Human Pathogen. *Clinical Microbiology Newsletter* 37(1): 1-8.

Brown, LM (2000). *Helicobacter pylori*: epidemiology and routes of transmission. *Epidemiol Rev* 22(2): 283-297.

Bundschuh J, L.M.I.; Parvez, Faruque; Román-Ross, Gabriela; Nicolli, Hugo B; Jean, Jiin-Shuh; Liu, Chen-Wuing; López, Dina; Armienta, María A; Guilherme Luiz, RG; Cuevas Gomez, Alina; Cornejo, Lorena; Cumbal, Luis; Toujaguez, Regla (2012). One century of arsenic exposure in La-

tin America: A review of history and occurrence from 14 countries. *Science of The Total Environment* 429: 2-35.

Cabrera MA., P.D.; Pulla, MF (2014). Arsénico en el agua. *Revista Galileo*

Cárdenas, M (2013). *Calidad de las aguas de los cuerpos hídricos de la provincia del Guayas mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos registrados durante noviembre de 2012 y marzo de 2013.* P. d. Guayas. Guayaquil, Ecuador, Prefectura del Guayas.

CEAS/SIPAE, C.d.e. y A.S. e. S.C.y.S.I.d.I.s.l.P.A.e.e.E.S. (2014). *Plan Provincial de Riego de la provincia del Carchi Quito, Ecuador*

CEPAL/GIZ, C.p.A.L. y e.C.C. y A.d.C.I.A.G. (2012). Diagnóstico de la Información Estadística del Agua. Ecuador 2012

Chiriboga J, B. V.; Arroyo, Gabriela; Sosa, Andrea; Birdsel,l Dawn N; España, Karool; Mora, Ana; Espín, Emilia; Mejía, María Eugenia; Morales, Melba; Pinargote, Carmina; Gonzalez, Manuel; Hartskeerl, Rudy; Keim, Paul; Bretas, Gustavo; Eisenberg, Joseph NS; Trueba, Gabriel (2015). "High Prevalence of Intermediate *Leptospira* spp. DNA in Febrile Humans from Urban and Rural Ecuador." *Emerging Infectious Diseases* 21(12): 2141-2147.

CISPDR, C.I.o.. P.D.a.R. (2017). *Planificación Hídrica Nacional del Ecuador (2014-2035).* Secretaría Nacional del Agua. Quito: S.N.d. Agua.

Colwell, R; Huq, A. (1994). Vibrios in the Environment: Viable but Nonculturable *Vibrio cholerae. Vibrio cholera and Cholera*. Wachsmuth, K; Blake, P; Olsvik, O. (eds.) Washington DC: ASM Press.

Cooper P, G.R.H. (1994). Gastrointestinal illness associated with balantidium coli infection in rural communities in Ecuador. *Parasitología al día* 18(1/2): 51-54.

Correa M, B.M.; Rebolledo, E; Mihi, DR; Salinas, E (2015). Análisis del contenido de metales en aguas, sedimentos y peces en la Cuenca del Río Santiago, Provincia de Esmeraldas. *Revista Investigación y Saberes* 4(2).

Cuéllar-Anjel, J. (2013). Síndrome de Taura. *Factsheets*.

Cumbal L, B.J.; Aguirre, V; Murgueitio, E; Tipán, I; Chávez, C (2009). The origin of arsenic in waters and sediments from Papallacta Lake in Ecuador. *Natural arsenic in groundwaters of Latin America--Occurrence, health impact and remediation.* Bundschuh, MA Armienta, J Matschullat, & A.B. (eds.). Mukherjee Leiden (The Netherlands): CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group.

Da Silva M, M.M.; Victoria, M (2016). Rotavirus and Astroviruses. *Global Water Pathogens Project.* J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds.). Michigan State University/UNESCO http://www.waterpathogens.org/book/rotavirus

De la Torre E, G.A.; Munoz, G; Criollo, E (2004). *Estudio de aguas superficiales y sedimentos de la cuenca de los ríos Sucus, Tambo y Papallacta.* Quito, Ecuador Unpublished report.

Dueñas, JA, G.P. (2016). *Ecological assessment of Portoviejo river basin (Ecuador), 2016.*

EMAPQ, E.M.d.A.y.A.P.d.Q. (2007). *Auditoría ambiental a la calidad del agua de consumo humano de las poblaciones de Guayllabamba y Tumbaco.* Quito, Ecuador.

EMAPS, E.P.M.d.A.P.y.S. (2016). *Memoria de Sostenibilidad 2016.* Dirección de Comunicación Social y Transparencia de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento Calidad de Agua Potable en Plantas de Tratamiento. D. d. Producción. Quito: Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito.

EMAPS, E.P.M.d.A.P.y.S. (2017). *Calidad de Agua Potable en Plantas de Tratamiento. Parámetros Operativos de Control de Calidad de Agua en Plantas de Tratamiento Periodo Noviembre 2017 Calidad de Agua Potable en Plantas de Tratamiento.* D. d. Producción. Quito: Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito.

EPMAPS, E.P.M.d.A.P.y.S. (2017). *Parámetros Operativos de Control de Calidad de Agua en Plantas de Tratamiento Periodo Enero-Diciembre 2017 Calidad de Agua Potable en Plantas de Tratamiento.* D. d. Producción. Quito: Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito.

Ferguson H, K.R.; Beltran, S; Reyes, E; Lince, JA; Del Pozo, J (2014). Syncytial hepatitis of farmed tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.): a case report. *J Fish Dis* 37(6): 583-589.

Ferlay J, S.I.; Dikshit, R; Eser, S; Mathers, C; Rebelo, M; Parkin, DM; Forman, D; Bray, F (2015). Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. *Int J Cancer* 136(5): E359-386.

Garcia-Aljaro C, M. M., Muniesa M (2017). Pathogenic members of Escherichia coli & Shigella spp. Shigellosis. *Global Water Pathogens Project.* J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds.). Michigan State University/UNESCO. http://www.waterpathogens.org/book/rotavirus

García, A; Salas-Jara,.M.J.; Herrera, C.; González, C. (2012). *Sistematización de experiencias del "Grupo pro agua sin arsénico" en la Parroquia de Tumbaco.* Licenciatura en Gestión para el Desarrollo local Sostenible, Universidad Politécnica Salesiana.

García, A; Salas-Jara,.M.J.; Herrera, C.; González, C. (2014). Biofilm and *Helicobacter pylori*: From environment to human host. *World Journal of Gastroenterology* : WJG 20(19): 5632-5638.

Goodman KJ, C.P.; Tengana Aux, HJ; Ramirez, H; DeLany, JP; Guerrero Pepinosa, O; Lopez Quinones, M; Collazos Parra, T (1996). *Helicobacter pylori* infection in the Colombian Andes: a population-based study of transmission pathways. *Am J Epidemiol* 144(3): 290-299.

Guamán M, G.N. (2016). *Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador.* C.p.l.I. Energética. Quito: Corporación para la Investigación Energética.

Guimaraes JR, B.O.; Miranda, MR; Barriga, R; Cueva, E; Betancourt, S (2011). Long-range effect of cyanide on mercury methylation in a gold mining area in southern Ecuador. *Sci Total Environ* 409(23): 5026-5033.

Guzmán V, N.R. (2010). *Línea de base para el monitoreo de la demarcación hidrográfica del Guayas.* Quito: Secretaría Nacional del Agua.

Hazell SL, M. H. M., Hedges M, Shi X, Hu PJ, Li Y Y, Lee A, Reiss-Levy E (1994). Hepatitis A and evidence against the community dissemination of Helicobacter pylori via feces. *J Infect Dis* 170(3): 686-689.

Hegarty JP, D. M., Baker KH (1999). Occurrence of Helicobacter pylori in surface water in the United States. *J Appl Microbiol* 87(5): 697-701.

Huayamave, J (2013). *Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la Provincia del Guayas, desde el punto devista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico.* Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Hulten K, H. S., Enroth H, Klein P D, Opekun AR, Gilman RH, Evans DG, Engstrand L, Graham DY, El-Zaatari FA (1996). *Helicobacter pylori* in the drinking water in Peru. *Gastroenterology* 110(4): 1031-1035.

IARC, W. G.o.t.E.o.C. (1994). Schistosomes, liver flukes and *Helicobacter pylori*. Risks to Humans. Lyon, 7-14 June 1994. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 61: 1-241.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (I.N.d.e.y.C). (2012). *Anuario Estadístico 2012 de la República del Ecuador.* Quito: INEC.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (I.N.d.E.y.C.) (2017). *Medición de los indicadores ODS de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH) en el Ecuador.* Quito: INEC.

INTERAGUA/I.W.S.G.I.C.L. (2017). *Informe Anual 2016-2017.* Guayaquil: I.W.S.G.I.C.L./INTERAGUA.

Izurieta, R (2006). *A Death Foretold in the Times of Cholera.* Latin American and Caribbean Studies, USF, University of South Florida.

Izurieta, R, G.S.; Clem, Angela (2008). Leptospirosis: The "mysterious" mimic. *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock* 1(1): 21-33.

Jacobsen, KH, R.P.S.; Quist, BK; & Rydbeck, BV (2007). Prevalence of intestinal parasites in young Quichua children in the highlands of rural Ecuador. *J Health Popul Nutr* 25(4): 399-405.

Katayama H, V.J. (2017). Norovirus and other Calicivirus. *Global Water Pathogens Project.* J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds.). Michigan State University/UNESCO. http://www.waterpathogens.org/book/rotavirus

Kato S, A. L.; Egas, J; Elson, L; Gostyla, K; Naples, L; Else, J; Sempertegui, F; Naumova, E; Egorov, A; Ojeda, F; Griffiths, J (2003). Waterborne *Cryptosporidium oocyst* identification and genotyping: use of GIS for ecosystem studies in Kenya and Ecuador. *J Eukaryot Microbiol* 50 Suppl: 548-549.

Klein, P D, G.D.Y.; Gaillour, A; Opekun, AR; & Smith, EO (1991). Water source as risk factor for *Helicobacter pylori* infection in Peruvian children. Gastrointestinal Physiology Working Group. *Lancet* 337(8756): 1503-1506.

Levy K, A.; Larissa, Robb; Katharine, A; Cevallos, William;Trueba, Gabriel; & Eisenberg, Joseph N.S. (2014). Household Effectiveness vs. Laboratory Efficacy of Point-of-use Chlorination. *Water research* 54: 69-77.

Levy K, H.A.E.; Nelson Kara, L; Eisenberg, Joseph NS (2009). Drivers of Water Quality Variability in

Northern Coastal Ecuador. *Environmental science & technology* 43(6): 1788-1797.

Levy K, H.A.E.; Nelson Kara, L; Eisenberg, Joseph NS (2012). Rethinking indicators of microbial drinking water quality for health studies in tropical developing countries: case study in northern coastal Ecuador. *Am J Trop Med Hyg* 86(3): 499-507.

Liu H, W.C.A.; Li, Baoguang (2018). Presence and Persistence of Salmonella in Water: The Impact on Microbial Quality of Water and Food Safety. *Frontiers in Public Health* 6: 159.

MAE, M.d.A.d.E. (2003). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Decreto ejecutivo No. 3516. Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador.

MAE, M.d.A.d.E. (2015a). Sustitúyase El libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Acuerdo Ministerial No. 028. Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador.

MAE, M.d.A.d.E. (2015b). Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Acuerdo Ministerial No. 061. Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador.

Malavade S, N.A.; Mitra, A; Ochoa, T; Naik, E; Sharma, M; Galwankar, S; Breglia, M; & Izurieta, R (2011). Cholera in Ecuador: Current relevance of past lessons learnt. *Journal of Global Infectious Diseases* 3(2): 189-194.

Mena, J.; Encalada, A. (2016). *Impactos de actividades antropogénicas discriminados por elementos mayores y traza en el camarón de río Macrobrachium brasiliense en la Amazonía ecuatoriana.* MSc, Universidad San Francisco de Quito.

Molleda-Martínez, P R.C.A. (2016). Estudio preliminar sobre la identificación y cuantificación de huevos de helmintos en el estuario y Río Atacames, Esmeraldas, Ecuador. *Revista Científica Hallazgos* 21 1.

Mora-Alvarado, D. (2003). Agua para consumo humano y disposición de excretas: situación de Costa Rica en el contexto de América Latina y el Caribe - 1960/2000. *Revista Costarricense de Salud Pública* 12: 31-46.

Morales E, L. V.; Navarro, L; Santana, V; Gordillo, A; & Arévalo, A (2013). Diversidad de microalgas y cianobacterias en muestras provenientes de diferentes provincias del Ecuador, destinadas a una colección de cultivos. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas* 34(1-2): 129-149

MSP, M.d.S.P.d.E. (2017). *Gaceta Epidemiológica,* Ministerio de Salud Pública del Ecuador. 52.

OMS/OPS, O.M.d.l.S.O.P.d.l.S. (2001). *Informe Regional sobre la Evaluación 2000 en la Región de las Américas: Agua potable y saneamiento, estado actual y perspectivas.* Washington DC, USA Organizacion Mundial de la Salud/Organización Panamericana de la Salud

Ortíz A, R.P. (2014). *Efecto de la variación temporal en la calidad del agua y comunidad de macroinvertebrados en la cuenca del Río Paute.* Licenciatura, Universidad del Azuay.

Palacios, T (2017). Prevalencia de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia* spp. en terneros, y su presencia en agua y en niños con problemas digestivos en el cantón San Fernando, Ecuador. *MASKANA* 8 (1): 111-119.

Pauta, G (2014). *Estudio integral de la calidad del agua del Río Burgay y evaluación del riesgo toxicológico por la probable presencia de plaguicidas.* Maestría en toxicología industrial y ambiental, Universidad de Cuenca

Pitkanen T, H.M. (2017). Members of the family Campylobacteraceae: Campylobacter jejuni, Campylobacter coli. *Global Water Pathogens Project.* J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds.). Michigan State University/UNESCO. http://www.waterpathogens.org/book/rotavirus

Preciado, A. (2015). *Prevalencia de la parasitosis intestinal en alumnos de primero a quinto grado de la escuela Helena Criollo desde mayo a junio del 2014.* BS, Universidad Técnica de Machala.

Proano, G. (2007). *Determinación de los índices ambientales por contaminación del uso de pesticidas agrícolas en las plantaciones de banano del sector de Tenguel – Provincia del Guayas.* Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guayaquil.

PUCESE, P.U.C.d.E.M.d.A.d E (2012). *Informe final de monitoreo de calidad ambiental de ríos de la cuenca del Santiago afectados por la actividad minera aurífera entre el periodo noviembre del 2011 a noviembre del 2012.* P.d.R A.y. Social. Esmeraldas, Ecuador: Ministerio del Ambiente de Ecuador.

Rao G, E.J.N.S.; Kleinbaum, David G; Cevallos, William; Trueba, Gabriel; Levy, Karen (2015). Spatial Variability of *Escherichia coli* in Rivers of Northern Coastal Ecuador. *Water* 7(2): 818-832.

Reyes, J.A. (2012). *Evaluación del RT-PCR ejn el diagnóstico de 6 parásitos intestinales en un área con parasitismo de baja intensidad en el Trópico.* Master, Universidad San Francisco de Quito.

Rios-Touma B, A.R.; Prat, N (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Rev Biol Trop* 62 Suppl 2: 249-273.

Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col.* Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

Rusinol M, G.R. (2017). Summary of Excreted and Waterborne Viruses. *Global Water Pathogens Project.* J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds.). Michigan State University/UNESCO. http://www.waterpathogens.org/book/rotavirus

Sasaki T, H.I.; Izurieta, Ricardo; Kwa Boo Hoe; Estevez, Edmundo; Saldana, Azael; Calzada, Jose; Fujimoto, Saori; & Yamamoto, Yoshimasa (2009). Analysis of *Helicobacter pylori* Genotype in Stool Specimens of Asymptomatic People. *Laboratory Medicine* 40(7): 412-414.

Sasaky K, T. Y., Sata M, Fujii Y, Matsubara F, Zhao M, Shimizu S, Toyonaga A, Tanikawa K (1999). "Helicobacter pylori in the natural environment." *Scand J Infect Dis* 31(3): 275-279.

Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) (2010). *Línea base para el monitoreo de la calidad del agua de riego en la Demarcación Hidrográfica del Guayas.* Quito: SENAGUA .

Sempertegui F, E.B.; Egas, J; Carrion, P; Yerovi, L; Diaz, S; Lascano, M; Aranha, R; Ortiz, W; Zabala, A; Izurieta, R; & Griffiths, J (1995). Risk of diarrheal disease in Ecuadorian day-care centers. *Pediatr Infect Dis* J 14(7): 606-612.

Tapia, LM (2013). *Manejo de agroquímicos para la producción de banano y su efecto en la calidad de vida de los trabajadores de las bananeras Bansol y Carolina del cantón Baba año 2013. Propuesta de disminución de riesgos.* Master, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Torres, J C.P.; Ferreccio, Catterina; Hernandez-Suarez, Gustavo; Herrero, Rolando; Cavazza-Porro, Maria; Dominguez, Ricardo; & Morgan, Douglas (2013). Gastric cancer incidence and mortality is associated with altitude in the mountainous regions of Pacific Latin America. *Cancer causes & control* : CCC 24(2): 249-256.

USEPA, U.S.E.P. (2012). *Guidelines for Water Reuse. Special Restricted Crop Area in Mendoza, Argentina* O. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development Cincinnati. Cincinnati, Ohio U.S. Agency for International Development Washington, D.C.

Van der Poel W, R.A (2017). Hepatitis A. *Global Water Pathogens Project.* J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds.). Michigan State University/UNESCO. www.waterpathogens.org/book/rotavirus

Van der Poel W, R.A. (2017). Hepatitis E. *Global Water Pathogens Project.* J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros (eds.). Michigan State University/UNESCO. http://www.waterpathogens.org/book/rotavirus

Vasco G, T.G.; Atherton, R; Calvopina, M; Cevallos, W; Andrade, T; Eguiguren, M.; & Eisenberg, JN (2014). Identifying etiological agents causing diarrhea in low income Ecuadorian communities. *Am J Trop Med Hyg* 91(3): 563-569.

Webb J, C.O.T.; Mainville, Nicolas; Mergler, Donna (2015). Mercury Contamination in an Indicator Fish Species from Andean Amazonian Rivers Affected by Petroleum Extraction. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 95(3): 279-285.

Weber JT, M.E.; Canizares, R; Semiglia, A; Gomez, I; Sempertegui, R; Davila, A; Greene, K D; Puhr, ND; & Cameron, DN (1994). Epidemic cholera in Ecuador: multidrug-resistance and transmission by water and seafood. *Epidemiol Infect* 112(1): 1-11.

Weirich CA, M.T. (2014). Freshwater harmful algal blooms: toxins and children's health. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care* 44(1): 2-24.

Westblom, T.U. (1997). Molecular diagnosis of Helicobacter pylori. *Immunol Invest* 26(1-2): 163-174.

Zhang L, B.W.; You, WC; Chang, YS; Kneller, RW; Jin, ML; Li, JY; Zhao, L; Liu, WD; Zhang, JS; Ma, JL; Samloff, IM; Correa, P; Blaser, MJ; Xu, GW; & Fraumeni, JF (1996). Helicobacter pylori antibodies in relation to precancerous gastric lesions in a high-risk Chinese population. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 5(8): 627-630.

El Salvador

Los desafíos en **El Salvador** para superar la problemática de la calidad del agua, asociada principalmente a los bajos niveles de tratamiento y al uso intensivo de agroquímicos, requieren, por una parte, la implementación de sistemas de tratamiento y reutilización, tal como lo asumen los planes anunciados por el Ejecutivo en 2017, la apuesta sistemática y sostenible de una agro producción diversificada a diferentes escalas, basada prioritariamente en el uso de insumos orgánicos y la recuperación de suelos; y por otra parte, en abordar las causas del problema propiciando un giro en el modelo económico-social y de desarrollo urbanístico e industrial vigente, que se oriente hacia la comprensión de los límites que resguardan los ecosistemas y de una integración ecológica en los territorios, considerando las implementaciones tecnológicas y el avance científico, como aspectos fundamentales para promover el conocimiento y las capacidades nacionales en la preservación del agua.

Volcán de Izalco desde el Lago Coatepeque, El Salvador © iStock

Calidad del Agua en las Américas: El Salvador

Julio César Quiñónez Basagoitia

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El presente documento se enmarca dentro de la iniciativa de IANAS por abordar, a nivel continental, la calidad del agua en las américas, considerando como aspectos fundamentales el análisis de la situación actual, las problemáticas y dinámicas locales, las estrategias nacionales asumidas –sus progresos y desafíos–, el marco normativo y legal, las implementaciones tecnológicas e investigaciones que se llevan a cabo desde los esfuerzos nacionales en las instituciones, universidades y la academia, así como el análisis de los impactos en la calidad del agua, generados por las dinámicas sociales y económicas, e identificando, a partir de ello, las oportunidades, experiencias exitosas y caminos de solución.

De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos en la Agenda 2030 y asumidos por los países en la Asamblea General de la ONU en septiembre de 2015, la calidad del agua representa uno de los factores primordiales que han sido destacados y priorizados en el ODS-6, referente a Agua Limpia y Saneamiento. En relación con ello, la disponibilidad hídrica y específicamente la calidad del agua representan uno de los principales desafíos en El Salvador por cuanto su progresivo deterioro impacta primordialmente en detrimento de la salud de la población, en la disponibilidad de agua para consumo humano, en la producción de alimentos, en el incremento de costos de potabilización y en la preservación de los ecosistemas y el medio ambiente.

El Salvador posee una extensión de 21,040.80 km^2 y cuenta con una población para el año de 2017 de 6,581,860 habitantes, de acuerdo con las características demográficas en la Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples (EHPM) (DIGESTYC, 2017). La misma establece que 3,959,652 residen en el área urbana y 2,622,208 residen en el área rural, representando 60.2% y 39.8% de la población, respectivamente. En el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) se concentra 25.7% del total de la población del país (1,693,186 habitantes).

En la **Figura 1** se representa la distribución de la densidad poblacional del país, indicando en coloración rojiza el AMSS como la zona urbana de mayor densidad poblacional. La misma se encuentra inmersa en la cuenca hidrográfica del río Acelhuate, el cual es el principal río urbano del país que reporta un alto nivel de contaminación debido a las descargas con bajo o ningún nivel de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales. De

Julio César Quiñónez Basagoitia. julioquinonezb@gmail.com Ing. Civil, MSc en Hidrología y Post Grado en Hidráulica. Consultor en Hidrología, Hidráulica y Medio Ambiente para diferentes entidades públicas y privadas, nacionales e internacionales. Investigador en hidrología y expositor en congresos internacionales de la Asociación Internacional de Recursos Hídricos (IWRA), miembro profesional en Recursos Hídricos de la Asociación Mundial del Agua (GWP) y Punto Focal en El Salvador del Programa de Aguas de IANAS.

Figura 1. Mapa de proyección de densidad poblacional

Fuente: MARN, 2016.

acuerdo con el reporte del Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento (FOCARD-APS, 2013:8), solamente 8.52% de los caudales operados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) recibe un tratamiento previo a su vertido y, adicionalmente, no se conoce con certeza el nivel de eficiencia de los sistemas, ya que muchos de ellos se encuentran sobrepasados en su capacidad de tratamiento debido, en parte, a la incorporación de nuevas redes de alcantarillados y a las altas concentraciones de los constituyentes de los efluentes.

Sobre esta situación, y en atención al bajo nivel de tratamiento, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) anunció el "Plan de Recuperación de Ríos Urbanos" (2016) el cual tiene como objetivo implementar acciones en cuatro cuencas urbanas, que conlleven a la reducción de la contaminación del río Acelhuate en 80%. Entre sus implementaciones se proyecta la construcción y rehabilitación de dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en San Salvador (**Figuras 2 y 3**), en sectores altamente poblados y zonas industriales, y otras dos Plantas de Tratamiento en las cuencas del río Suquiapa, en la Ciudad de Santa Ana, y en el río Grande de San Miguel, en la ciudad del mismo nombre. Actualmente ya se cuenta con el diagnóstico e inventario de las principales industrias que ejercen vertidos en los tramos de mayor contaminación y se tienen elaborados los diseños de los Sistemas propuestos por algunas industrias, los cuales se encuentran en fase de revisión por parte del MARN (2017:55).

Aunque la iniciativa del MARN se focaliza sobre el control y descontaminación de ríos urbanos, cuyos resultados en obras se espera concretar con la obtención del financiamiento y la construcción de las cuatro grandes Plantas de Tratamiento en un periodo estimado de tres años (2018-2020), y un Plan de Acción general sobre la descontaminación y recuperación del río Acelhuate en 10 años de plazo, el anuncio del Plan –más allá del mismo– abre la posibilidad de situar la problemática de la Calidad del Agua y la Contaminación Hídrica en el centro de la atención pública como un problema nacional prioritario. Para su solución, se requiere asumir un abordaje intersectorial, profundizar la investigación, implementaciones tecnológicas y el rol de las universidades y la academia; asimismo, la formalización por parte del Estado de una nueva normativa de vertidos de efluentes tratados, el control de

los agroquímicos y la socialización de la problemática, tomando en cuenta el contexto y análisis de variables causales y de las consecuencias e implicaciones del deterioro de la calidad del agua en el desarrollo humano, exigiendo desde esa perspectiva mayor responsabilidad y compromiso de los sectores económicos en la descontaminación, recuperación y sostenibilidad hídrica-ambiental del país.

Un aspecto relevante, ha sido la elaboración del Reglamento Técnico de Aguas Residuales, el cual incluye la revisión de los límites de la calidad para el vertido de las aguas residuales en los cuerpos receptores, tal como se refleja en el Informe de Labores del MARN (2017:54). Dicho Reglamento fue entregado al Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (OSARTEC) para su socialización con los sectores regulados, pero no se cuenta todavía como un instrumento normativo oficial y actualizado, pues se encuentra en la fase de consulta. Por otra parte, en 2017 se elaboró en cooperación con el CEDEX de España el documento Recomendaciones para la Selección de Tratamientos de Aguas Residuales Urbanas de la República de El Salvador. Adicionalmente, se formuló una guía para la elaboración de Planes de Mejoras de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, la cual ha estado disponible para las municipalidades y empresas del subsector de tratamiento de aguas, y se elaboró un documento de reúso de aguas residuales con la finalidad de llevar a cabo la reutilización de aguas residuales tratadas de forma segura, tal como se destaca en el Informe de Labores del MARN (2018:55).

Desde esta perspectiva, aunque se han iniciado acciones importantes para atender la situación de la calidad del agua, es necesario priorizar el análisis de su problemática, su contexto e implicaciones, así como caminos de solución, promoviendo la comunicación y socialización pública de una temática que se encuentra directamente vinculada a la salud, al desarrollo social, económico y humano del país. La finalidad es articular dichos aspectos dentro de una planificación integral que pueda conocerse a

Figura 2. Sitios a intervenir. Cuenca río Acelhuate

Figura 3. Rehabilitación de un tramo del río Acelhuate. Quebrada El Piro

través de su seguimiento, monitoreo, obstáculos que encuentra, y destacando sus logros y resultados esperados mediante una sistematización de indicadores y un cronograma establecido, de conformidad con el ODS-6. De acuerdo con este objetivo se debe obtener al menos una reducción de la mitad de las aguas sin tratar dentro de 12 años, lo cual implica que se debería contar con una cobertura de tratamiento de aguas residuales a nivel nacional de, al menos, 54.3% para 2030.

1.2 Principales problemas de la calidad del agua en el país

Los principales problemas de la calidad del agua se encuentran directamente asociados al bajo nivel de tratamiento de las aguas residuales e industriales y a la reducida utilización de las aguas tratadas, a las actividades extractivas mineras, a vertederos de desechos sólidos abiertos, a la presencia de altas concentraciones de coliformes fecales en algunas masas de aguas subterráneas y al uso intensivo de agroquímicos en plantaciones agrícolas, principalmente en las zonas costeras donde se ha reportado un incremento notorio de afectaciones hepáticas y enfermedades renales crónicas, no asociadas a los padecimientos causales tradicionales como son la hipertensión y la diabetes mellitus.

Todos estos aspectos que se han vuelto más complejos a través de los años son reflejo del vacío generado al no contar con un modelo de gestión y planificación pública del saneamiento, así como de la ausencia de una Autoridad Nacional del Agua, a partir de la cual se establezcan lineamientos y directrices para la toma de decisiones en la perspectiva de un desarrollo sustentable y equitativo, que priorice el control, reducción y eliminación de las fuentes contaminantes.

Se requiere de una autoridad pública que se constituya en la entidad ejecutiva y vigilante del cumplimiento del marco legal, asumiendo como as-

pecto central los vínculos de cooperación y coordinación interinstitucional, la promoción del conocimiento y la labor investigativa, la formulación de normativas técnicas en cuanto a la implementación de sistemas de tratamiento, económica y tecnológicamente viables, la actualización de normativas de disposición, condiciones de vertido y aprovechamiento de efluentes tratados, y el fomento de valores culturales ambientales que contribuyan a incrementar el interés, la participación, la conciencia ciudadana y de los distintos sectores sociales, económicos y políticos, en la comprensión integral de la problemática y sus soluciones.

Precisamente, un aspecto que no ha contribuido a echar andar un proceso que empiece a revertir el alto deterioro de la calidad del agua en El Salvador, y a consolidar un mecanismo institucional de regulación, control y preservación integral de los recursos hídricos, es la no aprobación de una Ley General del Agua, debido al alargamiento de las discusiones en la Asamblea Legislativa, luego de la presentación de su Proyecto de Ley por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en marzo de 2012.

Uno de los puntos esenciales planteados en el Proyecto de Ley es la concepción del carácter público de la entidad rectora, lo cual ha encontrado fuerte oposición en las facciones políticas que representan y defienden intereses de importantes grupos empresariales relacionados con el aprovechamiento y explotación del agua, quienes presionan por establecer una autoridad privada de la gestión hídrica.

Al respecto, se han llevado a cabo importantes llamados desde la Procuraduría para la Defensa de los Derechos Humanos (PDDH), la jerarquía de la Iglesia Católica, las organizaciones ambientalistas y la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA) a los tomadores de decisión política, con el objetivo de que reflexionen y ejerzan su función constitucional de legislar en beneficio del país, enfatizándoles que el Agua es un bien supremo nacional de uso público, cuyo dominio pertenece a la Nación y, por consiguiente, el Estado debe ejercer su co-participación con carácter prioritario sobre otros sectores, volviéndose el responsable de garantizar y propiciar la adecuada conducción, gestión pública y gobernanza del agua, siendo aspectos primordiales que no pueden ser marginados, relegados ni transferidos a otras instancias sectoriales o particulares. Más aún, cuando de acuerdo con el ODS-6 se establece la prioridad de alcanzar un acceso universal y equitativo del agua potable y saneamiento a un precio justo y asequible para todos.

En ese sentido, los desafíos por la preservación de la calidad del agua y los problemas asociados son un esfuerzo integrador que debe ser asumido y conducido prioritariamente por el Estado, pues dicho objetivo se encuentra directamente vinculado a una profundización de la estrategia de saneamiento, al control y reducción de la contaminación y del uso de agroquímicos, a la regulación de los vertidos domésticos, al ordenamiento y zonificación sustentable de los territorios, y a una reformulación del marco normativo sobre la disposición y las concentraciones permisibles de los vertidos industriales. En la actualidad, las normativas se encuentran, en muchos de los parámetros fundamentales, muy distantes de las pautas, lineamientos y valores de concentraciones permitidas de acuerdo con los estándares internacionales.

1.3 Objetivos y alcances del informe capítulo Calidad de Aguas-El Salvador

El objetivo del presente capítulo es destacar y analizar los elementos y aspectos que constituyen la problemática e implicaciones del deterioro de la calidad del agua, y propiciar lineamientos de solución para la adopción de acciones en diversos ejes transversales, considerando como base fundamental los Objetivos de Desarrollo Sostenible, con énfasis en el ODS-6 referente al agua y saneamiento.

2. Autoridades y gobernanza de la calidad del agua

2.1 Marco legal

El país no cuenta aún con una Ley General de Aguas, sin embargo, el marco legal para el control y gobernanza de la calidad del agua se rige mediante atribuciones de Ley conferidas principalmente al MARN, a través de la Ley de Medio Ambiente, y al Ministerio de Salud (MINSAL), a través del Código de Salud. Otras competencias parciales y sectoriales son asignadas de acuerdo con las funciones de ley de algunas instituciones públicas como la ANDA y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

La Ley de Medio Ambiente (1998) establece en

el Art. 49 que el MARN es el responsable de supervisar la calidad del agua con base en las normas técnicas, contándose para ello con un laboratorio de calidad del agua, el cual obtuvo en 2016 su acreditación de calidad bajo la norma ISO/IEC/17025;2005, de once parámetros de calidad del agua. Es, además, la entidad competente para la emisión de directrices técnicas y la instancia que debe garantizar que todos los vertidos de sustancias contaminantes a los cuerpos receptores sean tratados previamente por parte de quien los ocasione.

Estos aspectos se extienden también a la protección de zonas costero-marinas, ecosistemas y del suelo, poniéndose especial énfasis en el Art. 50 sobre el ejercicio de la prevención y control de la contaminación del suelo, para lo cual deberá *"promover el manejo integrado de plagas, fertilizantes y el uso de fertilizantes, fungicidas e insecticidas naturales en la actividad agrícola, con el fin de lograr la sustitución gradual de los agroquímicos por productos naturales bio-ecológicos".* Ello es un aspecto esencial que requiere una amplia proyección pública a nivel nacional, con el fin de propiciar un giro e iniciar un proceso de transformación hacia la utilización de productos orgánicos compatibles con la protección de los acuíferos y las aguas superficiales.

Por otra parte, el Código de Salud (1988) le confiere al MINSAL en el Art. 59 las atribuciones de desarrollar programas y acciones de saneamiento ambiental, tales como la erradicación de vectores, con el fin de mejorar la calidad del abastecimiento de agua, así como medidas para la disposición de excretas y aguas servidas principalmente en el ámbito rural, cuyo saneamiento se hace en la mayoría de los casos mediante letrinas, fosas sépticas y pozos de absorción. Dichas acciones se orientan también al control de contaminantes en el suelo, en el agua y en el aire, con la finalidad de proteger la salud de los habitantes.

Desde la perspectiva del sector agrícola, la Ley de Riego y Avenamiento (1970) dispone en el Art. 100 que las aguas servidas de cualquier clase y vertidas a cauces naturales o artificiales deberán tratarse y depurarse previamente según lo establecido por el MAG y el Ministerio de Salud, debiendo dichas entidades *"ejercer la vigilancia y fiscalización necesaria en los establecimientos fabriles, mineros o agropecuarios que con sus actividades sean capaces de tornar inaprovechables las aguas".* Por otra parte, el Art. 101 establece que el Poder Ejecutivo en el ramo de Agricultura y Ganadería *"dictará las medidas para: a) Impedir que se contaminen las aguas; b) impedir el uso de aguas que reduzcan la fertilidad de los suelos; y c) proteger la fauna y flora acuática".*

Con la entrada en vigor de la Ley de Medio Ambiente en 1998, estos aspectos relacionados con la protección del agua y los sistemas naturales se tornan con mayor claridad como competencias directas del MARN, aunque en su carácter formal siguen siendo también atribuciones expresas del MAG consignadas en la Ley de Riego y Avenamiento, lo que supondría en la práctica el ejercicio de un trabajo conjunto, coordinado y vinculante entre ambas instituciones para efecto de la protección de los recursos hídricos y naturales, así como el fomento de la agroproducción de manera sustentable. Más aún, cuando uno de los problemas de mayor impacto en la calidad del agua es el uso intensivo de agroquímicos, que se refleja principalmente en las plantaciones de caña de azúcar y en la agricultura convencional de producción de granos básicos, se pone de relieve la importancia de incrementar la diversidad agroproductiva a menor escala y la implementación de un mecanismo permanente de sustitución gradual de los agroquímicos por insumos orgánicos, tal como la misma Ley de Medio Ambiente lo establece.

En lo referente a las atribuciones de la Ley de la ANDA, la entidad autónoma posee su propio laboratorio de análisis físico-químico, a través del cual ejerce un control y monitoreo de la calidad del agua que suministra a la población mediante su sistema de acueductos. De igual forma, dispone de una normativa técnica para establecer las concentraciones máximas permitidas de las aguas residuales dispuestas en el sistema de alcantarillado, provenientes de los proyectos urbanísticos e industriales.

Tomando en cuenta estos cuatro ámbitos claves en la vida del país, dentro de lo cual se podría incluir también la Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), la Cartera de Obras Públicas (MOP) y las Oficinas de Planificación Urbana y Desarrollo Territorial, la gobernanza de la calidad el agua y la perspectiva ambiental desde cada entidad se han caracterizado históricamente por la dispersión de roles, enfoques y propósitos, con base en competencias de Ley parciales y sectoriales, conformándose un marco legal que carece de una Autoridad Nacional del Agua. Sin embargo, la creación del Ga-

binete de Sustentabilidad Ambiental y Vulnerabilidad en 2014, el cual está compuesto por siete ministerios, la Secretaría Técnica de la Presidencia y dos instituciones autónomas, ha posibilitado el emprender acciones articuladas, planificadas y coordinadas con el MARN para llevar a cabo medidas conjuntas con el fin de fortalecer el control, la regulación y el monitoreo que la institución ejerce, entre otros aspectos, relacionados con la protección y gestión del recurso hídrico.

Sin embargo, uno de los principales obstáculos en la preservación de la calidad del agua y el entorno natural, se encuentra en las concentraciones permitidas de los constituyentes en los efluentes de vertidos a los cuerpos receptores, establecidos en las normativas nacionales, los cuales en muchos de los casos sobrepasan con creces los valores guía de instancias internacionales. Ello se refleja en los rangos de valores de descarga establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria (2009), la cual fue elaborada y aprobada con la representación mayoritaria de sectores económicos y productivos del país, y cuyos valores diferenciados asignados según el tipo de industria (beneficios del café, tenerías, destilerías, elaboración de alimentos, lácteos, ingenios azucareros, elaboración de jabones, detergentes y medicamentos, etcétera) comprenden altos valores para algunos parámetros, como es el caso de DBO5 (60-3,000 mg/lt), DQO (100-3,500 mg/lt) y Sólidos Suspendidos Totales SST (60-1000 mg/lt), los cuales sobrepasan significativamente las capacidades naturales de asimilación de los cuerpos receptores y superan significativamente los valores guía internacionales, tales como los indicados en los Lineamientos sobre seguridad y Salud Ambiental (Banco Mundial, US EPA, Levi Strauss & Co., 2007) que establecen valores guía de vertido de DBO5 (30-50 mg/lt), DQO (125-250 mg/lt) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) (45-50 mg/lt). Igual situación de discrepancias entre las normativas salvadoreñas y las pautas internacionales se refleja en el caso de metales pesados.

Sobre esta misma situación es importante destacar que en el año 2005 se promulgó una modificación en el Decreto No. 50 y Reforma 51 (ANDA, 1987) referente a las normativas de la ANDA sobre disposición de aguas residuales especiales en el alcantarillado sanitario, experimentándose en la nueva normativa (ANDA, 2005) un significativo incremento en los valores permisibles de grasas, metales pesados y compuestos fenólicos. Esta modificación se ha vuelto un factor incidente en acentuar la reducción de las eficiencias y la capacidad de tratamiento de los sistemas instalados.

2.2 Relaciones con las ONG, universidades, investigaciones científicas, etc.

El aporte e interés de las universidades y algunas ONG por la preservación y monitoreo de la calidad del agua se ha incrementado y potenciado en los últimos años, llevándose a cabo trabajos e investigaciones, muchos de ellos en coordinación y complementariedad con el MARN y ANDA. Un esfuerzo importante ha sido el Convenio de Cooperación entre la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA) y el MARN en 2017, referente a la elaboración de un Atlas compuesto por 50 mapas con información diversa sobre el estado de la Quebrada El Piro en términos urbanos y ambientales, la cual se ubica en la zona sur poniente de la capital –San Salvador–, y el proyecto se enmarca en el plan de descontaminación del río Acelhuate. De igual forma, la UCA desarrolló en 2013 un estudio piloto sobre la eutrofización de embalses, aplicando tecnologías de análisis y monitorización remota. Por otra parte, en el marco de la ampliación de la red de monitoreo de aguas subterráneas, en 2017 se llevó a cabo la perforación de un pozo en las instalaciones de la UCA incluyendo el equipamiento con instrumentos de medición y recolección de datos para su análisis y seguimiento en el tiempo.

En el lago de Coatepeque, la Universidad de El Salvador ha desarrollado investigaciones referentes al monitoreo de la proliferación de cianobacterias, las cuales se han complementado con las investigaciones efectuadas por el MARN.

Entre otras acciones de importancia se encuentra el proyecto de mejoramiento de la calidad del agua mediante la eliminación del ion aluminio del abastecimiento de agua potable en el cantón San Diego departamento de Morazán, suscrito entre la Asociación Saneamiento Básico, Educación Sanitaria y Energías Alternativas (SABES) y el MARN.

2.3 Monitoreo y base de datos

Recientemente, en Septiembre de 2018, el MARN ha llevado a cabo el lanzamiento de la plataforma en

línea "Sistema de Información Hídrica" SIHI, la cual ofrece información sobre balance hídrico, gestión del recurso, indicadores de calidad, sistema de información geográfica, entre otros, de amplia utilidad para las instituciones y sectores relacionados al uso del agua. www.marn.gob.sv/sih

2.3.1 Aguas superficiales

Con la finalidad de conocer el impacto espacial y temporal de la situación de la calidad del agua y disponer de un instrumento para la gestión y descontaminación de acuerdo con áreas prioritarias, el MARN ha llevado a cabo en los años 2007, 2009, 2010, 2011, 2013 y 2018 los reportes anuales sobre el Programa Nacional de Monitoreo de las Aguas Superficiales. El monitoreo se ha llevado a cabo entre 118 y 123 puntos de muestreo en 55 ríos, los cuales adquieren gran importancia por su uso para consumo humano, riego, recreación y mantenimiento de vida acuática. Para su evaluación utiliza el Índice de Calidad de Agua (ICA), el cual ha sido formulado con un puntaje entre 0 y 100, estableciéndose como calidad de agua excelente a valores entre 81-100 y, en el otro extremo, como calidad pésima a valores entre 0 y 25. Para determinar el ICA se atribuyen pesos específicos a cada uno de los nueve parámetros de análisis prioritarios, donde el oxígeno disuelto, los coliformes fecales, el pH y DBO_5 adquieren los mayores valores de pesos específicos. La metodología fue desarrollada con base a la National Sanitation Foundation de Estados Unidos (NSF), asignando pesos con base a las normativas nacionales.

De acuerdo con el reporte de calidad de aguas del MARN (2011), 88% de los ríos poseían un ICA entre *"regular"* y *"pésima"*, debido principalmente a las altas concentraciones de coliformes fecales. Para el año 2013, se detecta un detrimento mayor, alcanzando 95% para el mismo rango de categoría (MARN, 2013). En la **Tabla 1** puede observarse el nivel de calidad del agua para los años comprendidos entre 2006 y 2013.

En la **Figura 4** se presenta la clasificación de Calidad de las Aguas Superficiales a nivel nacional 2011-2013, indicándose en puntos rojos la categoría de "pésima", principalmente en la cuenca del río Acelhuate.

En el último informe del monitoreo realizado en 2017, el MARN reportó una mejoría de la calidad promedio en tanto que no se determinó un ICA dentro de la categoría de *"pésima"*, obteniéndose 68% dentro de *"regular"* y *"mala"*, y 32% de los puntos de medición con un ICA de *"buena"* (MARN, 2017). Sin embargo, a diferencia de ello, el mismo estudio destaca que actualmente ningún sitio cumple con aptitud de agua para potabilizar mediante métodos convencionales en comparación con el año 2013, donde 29% de los sitios analizados eran aptos para su potabilización mediante dichos métodos. De igual forma, hay un decrecimiento de los flujos aptos para riego (28% en 2013 y 10% en 2017).

Para el caso de las mediciones realizadas en el río Acelhuate durante 2017, únicamente se establecieron dos puntos de medición a diferencia de los cuatro puntos registrados en los reportes anteriores. Para ambos puntos de medición en relación con años anteriores se tiene que en 2017 las concentraciones de coliformes fecales fueron de 7.9 y 1.6 millones de NMP/100ml; las registradas en 2013 para esos mismos puntos son de 0.79 y 0.22 millones de NMP/100ml, y para el año 2011 de 0.35 y 0.05 millo-

Tabla 1. Porcentaje de sitios en relación con la calidad del agua superficial

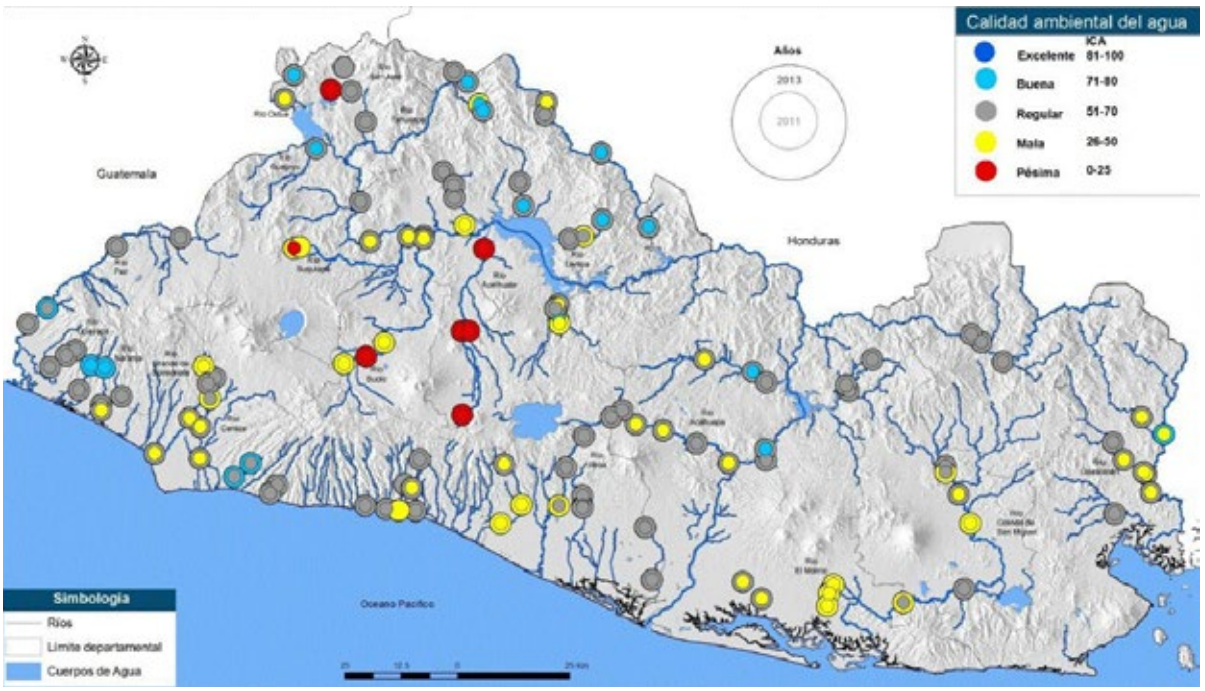
Calidad del agua	Porcentaje de sitios					
	2006	2007	2009	2010	2011	2013
Excelente	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Buena	17%	3%	0%	2%	12%	5%
Regular	50%	45%	60%	65%	50%	73%
Mala	20%	46%	31%	27%	31%	17%
Pésima	13%	6%	9%	6%	7%	5%

Fuente: Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua (MARN, 2013).

nes de NMP/100ml, de tal forma que se puede observar un incremento paulatino de las concentraciones coliformes fecales entre 2011 y 2017.

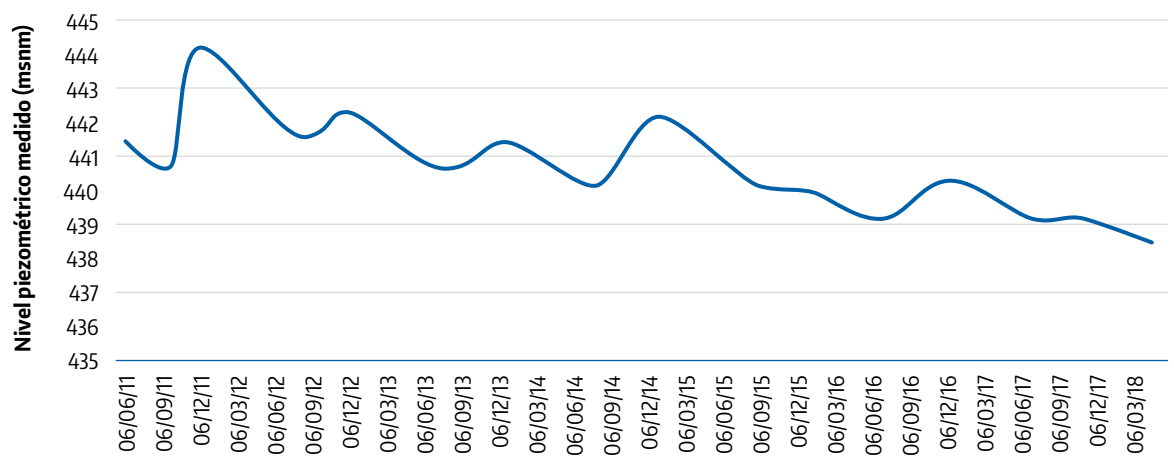
A partir de los resultados de 2017 puede observarse también, la contaminación paulatina que han experimentado algunos ríos situados en la zona sur poniente de la capital, precisamente en el entorno de la expansión urbanística que avanza en la cordillera del bálsamo con el acelerado deterioro de sus cuencas que se extienden hasta la llanura costera. Los ríos San Antonio y El Jute considerados limpios e inmersos en zonas con abundante cobertura de bosque y valorados por su atractivo paisajístico y como portadores de bienes hídricos para el susten-

Figura 4. Mapa de Clasificación de Aguas Superficiales según el ICA, 2011-2013



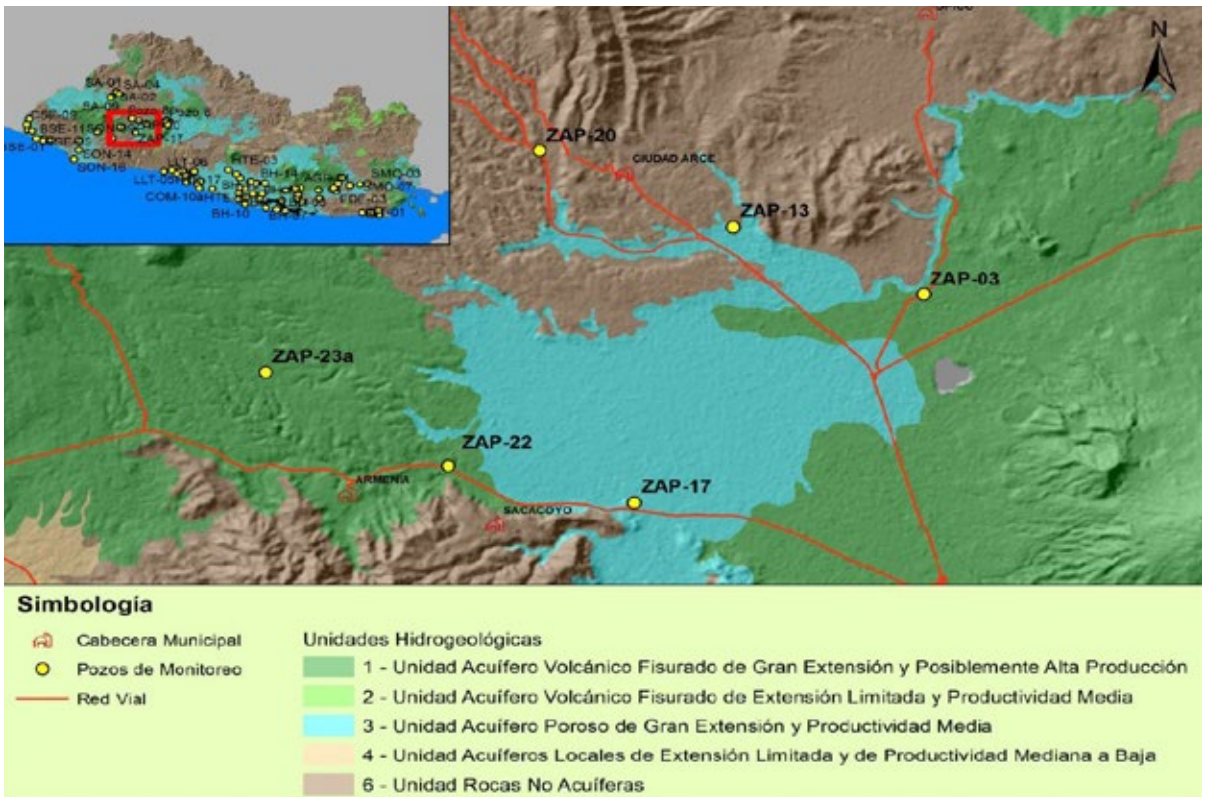
Fuente: Informe del Programa de Monitoreo Calidad del Agua (MARN, 2013).

Figura 5. Monitoreo de niveles piezométricos en acuífero de Nejapa



Fuente: Informe de monitoreo de niveles piezométricos acuífero de Nejapa y San Salvador, Sección Hidrogeología (DGOA, 2018).

Figura 6. Mapa de red de monitoreo de aguas subterráneas – Zapotitán



Fuente: Informe de monitoreo hidrogeológico (DGOA, 2016).

to de las comunidades y la biodiversidad local, hoy experimentan altas cargas contaminantes producto de las aguas residuales domésticas e industriales provenientes de los nuevos proyectos habitacionales, comerciales e industriales. Así, por ejemplo, para el año 2013 la concentración de coliformes fecales del punto de muestreo en esos ríos reportó valores de 200 y 210 NPM/100ml, respectivamente; en cambio, para 2017, reportó valores de 92,000 y 49,000 NPM/100ml, respectivamente. Esta misma tendencia de degradación se presenta en otros parámetros, como DBO5, fosfatos, fenoles y la pérdida del oxígeno disuelto.

2.3.2 Aguas subterráneas

El monitoreo de las aguas subterráneas se lleva a cabo desde 2012 a través de la sección de Hidrogeología de la Dirección General del Observatorio Ambiental del MARN (DGOA-MARN). El mismo consiste en el análisis e interpretación de la información hidrogeológica existente, la medición de los niveles piezométricos y la toma de muestras para la caracterización físico-química de las aguas subterráneas, con el propósito de analizar su aptitud de agua para consumo humano. Referente al monitoreo piezométrico, el acuífero de Nejapa reporta un decrecimiento constante en sus niveles tal como se ilustra en la **Figura 5.** El mismo se encuentra a 24 km de la capital y constituye uno de los principales reservorios de agua subterránea para el abastecimiento de la población del AMSS. Sin embargo, en los últimos años se ha visto impactado severamente por las extracciones que ejercen empresas de bebidas y la edificación reciente de proyectos logísticos y urbanísticos a gran escala, que lo han condicionado a una situación permanente de sobreexplotación, tal como se analiza en el estudio presentado por la Alcaldía Municipal de Nejapa, entidades de cooperación internacional y organizaciones sociales y ambientales aglutinadas en el Foro del Agua (Quiñónez, 2013).

En el año 2016 se llevó a cabo el monitoreo de calidad del agua de los acuíferos de Zapotitán, Santa Ana y San Miguel (DGOA-MARN, 2016). El acuífero

de Zapotitán constituye el ámbito del principal Distrito de Riego en el país, situado a unos 30 km al Occidente del AMSS, y cuyo objetivo primordial es el riego de extensiones de caña de azúcar, maíz y frijol, así como parcelas de hortalizas y frutales en menor escala. Por otro lado, los acuíferos de Santa Ana y San Miguel corresponden a los ámbitos hidrogeológicos para el abastecimiento de agua de las ciudades más importantes después de la capital, ubicadas en el occidente y oriente del país, respectivamente.

Los parámetros analizados en el monitoreo del año 2016 fueron los siguientes: pH, conductividad, salinidad, alcalinidad, bicarbonato, boro (sólo en época seca), calcio, carbonatos, cloruro, dureza total, flúor, fosfatos, hierro, manganeso, magnesio, nitratos, nitrógeno amoniacal, potasio, sílice, sólidos disueltos totales, sodio, sulfatos entre otros, según la NSO para agua potable (MINSAL, 2009). El monitoreo de la DGOA no contempla el análisis bacteriológico. En la **Figura 6** se presentan las unidades hidrogeológicas y la red de monitoreo de la zona de Zapotitán y se ha introducido el mapa de El Salvador y la red de monitoreo de aguas subterráneas a nivel nacional de pozos semiprofundos.

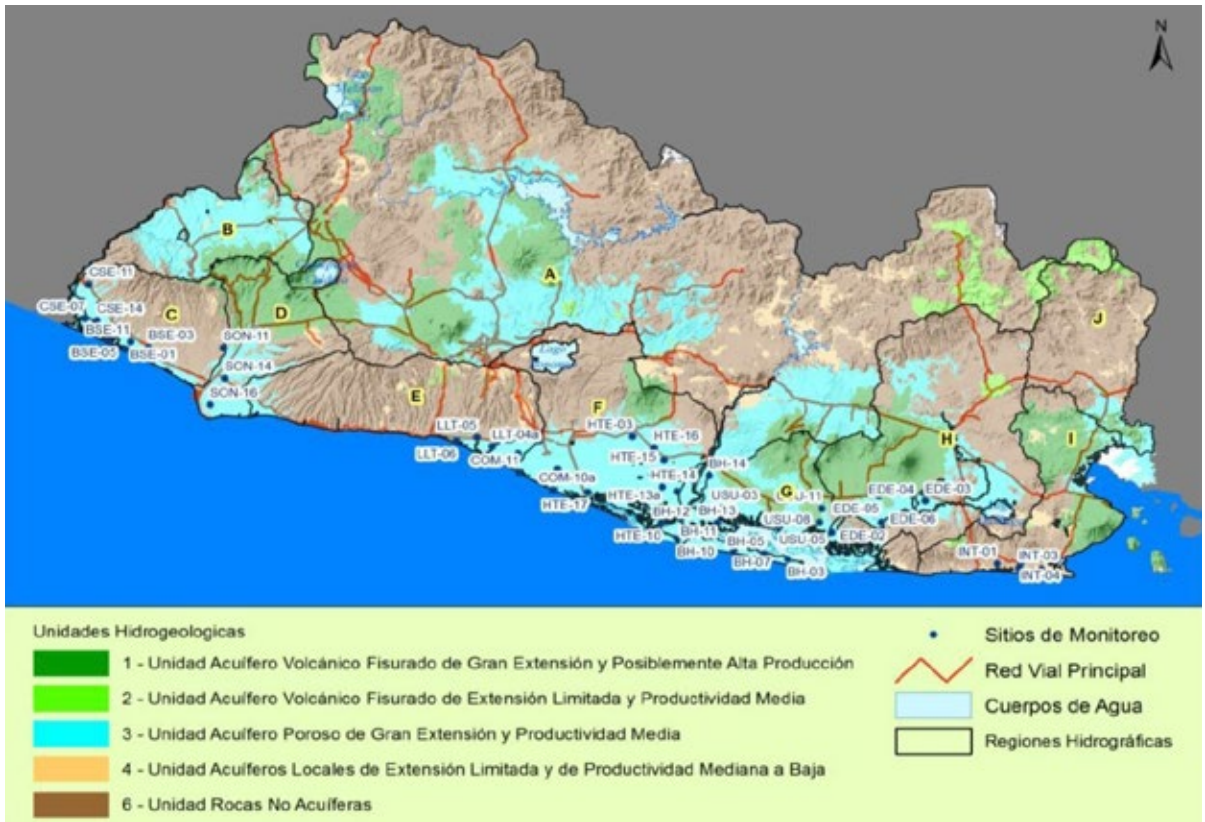
De acuerdo con los parámetros analizados en la época seca (noviembre-abril) del año 2016, y en los tres sitios de estudio, los nitratos (NO3) y el Boro (B) presentaron valores que excedieron la normativa NSO para agua potable, con valores para el caso del acuífero de Santa Ana > 81 mg/lt para nitratos y entre 2.99-4.88 mg/lt para boro, siendo los valores permisibles de 45 mg/lt y 0.3 mg/lt, respectivamente. En el mismo Departamento de Santa Ana, ubicado en el occidente el país, las concentraciones medidas de arsénico (As) se encuentran dentro de la normativa de 0.01 mg/lt, reportándose concentraciones en el rango de 0.00074-0.00189 mg/lt. En la **Tabla 2** se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 2. Resultados físico-químicos de cuatro pozos en el acuífero de Santa Ana, 2016

Parámetro	Unidad	NSO 13.07.01.08	SA-01	SA-02	SA-04	SA-09
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	6-8.5	6.88	6.69	6.88	8.32
Conductividad eléctrica (CE)	µsiemens/cm	-	571.5	510	494.5	727
Salinidad	ppt	-	0.3	0.2	0.2	0.4
Alcalinidad	mg/l $CaCO_3$	-	182.76	139.25	163.18	211.05
Bicarbonato (HCO_3)	mg/l $CaCO_3$	-	182.76	139.25	163.18	175.57
Boro (B)			4.88	3.9	2.99	3.98
Calcio (Ca)	mg/l Ca	-	54.55	39.14	56.23	66.13
Carbonatos ($CaCO_3$)	mg/l $CaCO_3$	-	0	0	0	35.47
Cloruros (Cl^-)	mg/l Cl^-	-	31.55	26.62	20.95	46.83
Dureza total	mg/l $CaCO_3$	500	203.31	177.9	215.8	251.1
Flúor (F)	mg/l F	-	0.24	2.28	0.25	0.19
Fosfato (PO_{43}-)	mg/l PO_{43}-	-	0.02	0.65	0.11	0.24
Hierro (Fe)	mg/l Fe	0.30	0.052	0.173	<0.009	<0.009
Magnesio (Mg)	mg/l Mg	-	16.3	19.47	18.31	20.88
Manganeso (Mn)	mg/l Mn	0.10	<0.024	<0.024	<0.024	<0.024
Nitratos (NO_3-)	mg/l NO_3-	45.00	16.9	42.02	81.4	89.09
Potasio (K)	mg/l K	-	13.1	8.95	5.23	15.1
Sílice (SiO_2)	mg/l SiO_2	-	77.22	89.09	108.86	103.59
Sólidos Totales disueltos (STD)	mg/l	1000	280	249.5	242	356
Sodio (Na)	mg/l Na	200.00	25	22	19.5	35.5
Sulfatos (SO_4)	mg/l SO_4	400.00	46	34	46	50

Fuente: Informe de monitoreo hidrogeológico: acuífero de Sana Ana (DGOA, 2016).

Figura 7. Mapa de monitoreo de pozos artesanales, 2015



Fuente: Informe de monitoreo de pozos (DGOA, 2015).

Un segundo y tercer informes son la Caracterización Físico-Química de las Aguas Subterráneas en los Acuíferos Porosos en la Zona Costera (DGOA-MARN, 2015 y 2016), los cuales se refieren a acuíferos someros con pozos artesanales de uso doméstico de 10 m en promedio y con un rendimiento moderado, caracterizados hidrogeológicamente como "Unidad acuífero poroso de gran extensión y productividad media" y de gran importancia para el abastecimiento de los pobladores y comunidades de la zona que no cuentan con el servicio de agua potable a través de sistemas de distribución de tuberías, domiciliar o comunitaria. Sin embargo, dadas las condiciones de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, y según el mismo estudio, el agua extraída es utilizada únicamente para usos domésticos y no para el consumo humano.

Este amplio territorio de la planicie costera, en especial las áreas conformadas por las zonas bajas de los departamentos de Usulután, San Vicente, Cuscatlán y San Miguel, es altamente vulnerable a los impactos por la contaminación proveniente del uso intensivo de agroquímicos que se lleva a cabo, principalmente, en plantaciones de caña de azúcar y, en menor medida, en parcelas agrícolas destinadas al cultivo de maíz, frijol y algunas hortalizas en la época lluviosa. Adicionalmente, la gran mayoría de la población de dichas zonas específicas, nominadas F y G en la **Figura 7** y estimadas en el orden de los 70,000 habitantes, no cuenta con sistemas adecuados de tratamiento de las aguas residuales, llevándose a cabo su disposición mediante letrinas y pozos sumideros que se vuelven focos de contaminación para el acuífero superficial.

De acuerdo con el informe, el monitoreo se efectuó en octubre de 2015 –periodo correspondiente a la época lluviosa– en la franja costera del país y se llevó a cabo en 50 pozos artesanales. Los metales o metaloides analizados fueron arsénico, hierro total (Fe) y manganeso (Mn). En 43 sitios se encontró la presencia de As en las aguas subterráneas y, en 18 de ellos, los valores superaron los niveles máxi-

mos permisibles de 0.01 mg/lt, alcanzando un valor máximo de 0.12 mg/lt en el pozo HT13a de la región F. El monitoreo de este mismo pozo en mayo de 2016 (época seca) presentó un valor de As de 0.23 mg/lt, como se observa en la **Figura 8.** Esta zona corresponde a la región deltaica en la desembocadura del río Lempa, cuyos flujos se encuentran en interacción con los niveles freáticos del acuífero poroso y en una zona de alta susceptibilidad a contaminantes externos.

En ese sentido, los informes establecen la necesidad de llevar a cabo investigaciones para determinar si el origen de dichas concentraciones es natural y propio de las características hidrogeológicas del acuífero o si proviene de agentes externos.

En relación con el hierro, se identificó su presencia en más de 90% de los pozos de muestreo y, en 15 de ellos, se encontró que su concentración superaba el límite establecido por la norma de 0.3 mg/lt, con valores significativamente altos, tal como se muestra en la **Figura 9.**

De igual forma se identificó la presencia de manganeso en más de 90% de los pozos monitoreados y, en más de 50%, se determinó que las concentraciones superaban el límite admisible establecido por la norma NSO, que es de 0.1 mg/lt (**Figura 10**). El manganeso es utilizado en la fabricación de detergentes, limpiadores, blanqueadores y desinfectantes como el permanganato de potasio, el cual es un agente oxidante utilizado en diversos productos de carácter industrial. Sin embargo, en el informe se establece que se requieren mayores investigaciones para establecer el origen y aspectos causales de las altas concentraciones.

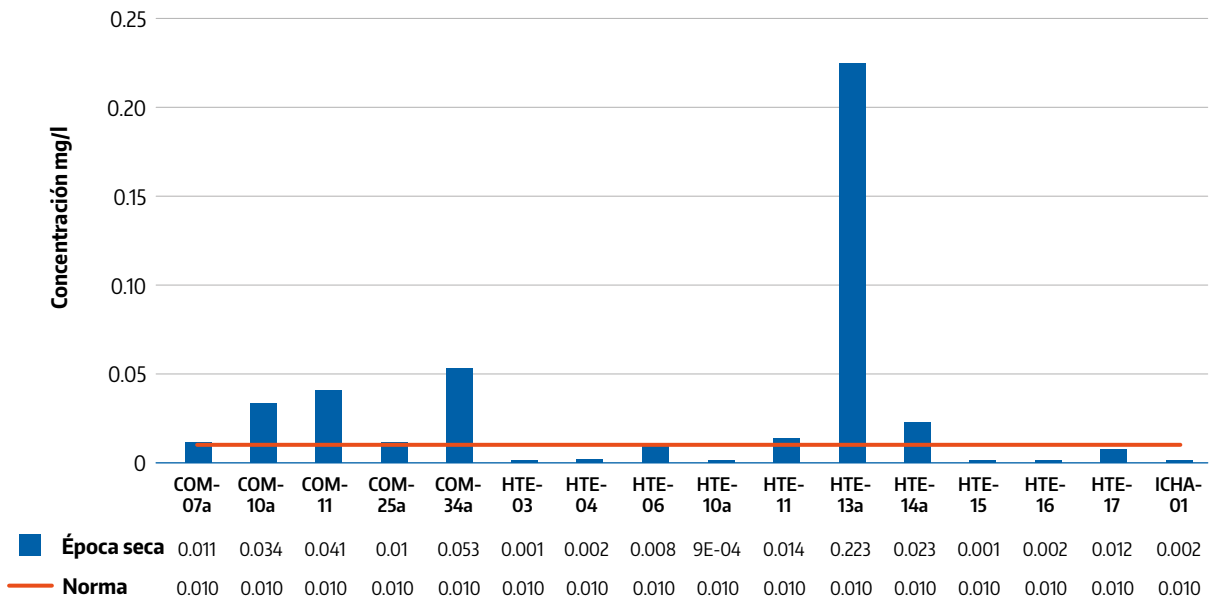
3. Principales problemas e impactos derivados de la calidad del agua

3.1 Eutrofización

Con la finalidad de conocer el estado de los humedales y sus condiciones de eutrofización, la UCA en coordinación con el MARN llevó a cabo en 2013 el monitoreo de las variables físico-químicas en el embalse del "Cerrón Grande", consistentes en conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, potencial óxido-reducción y pH (UCA, 2013).

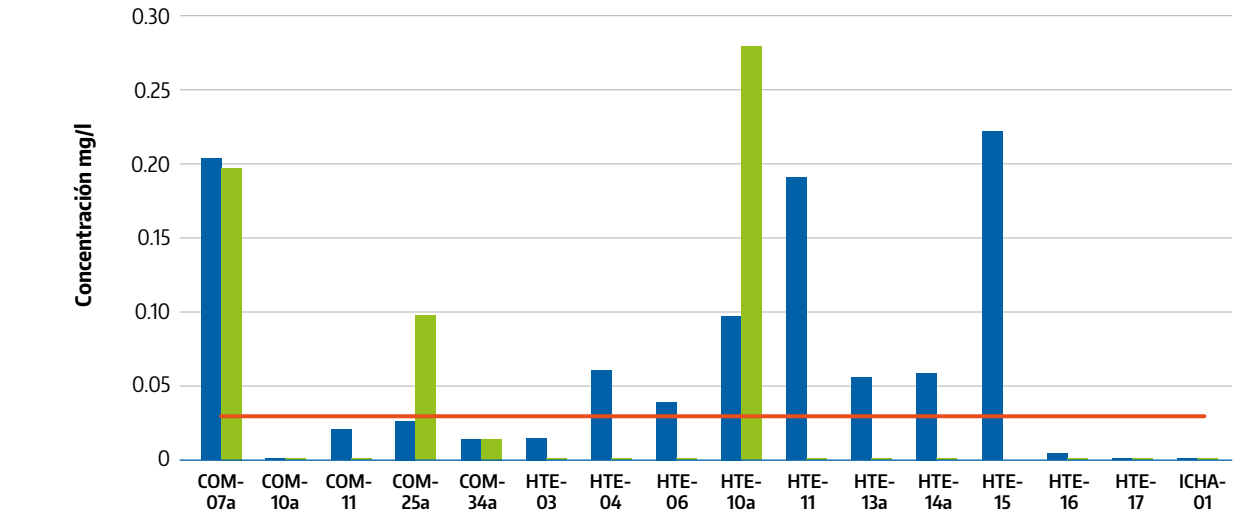
Dicho embalse constituye el cuerpo de agua más grande del país, con una extensión de 135 km^2 y se localiza sobre el río Lempa, siendo realizado en el marco de la construcción de la Central Hidroeléc-

Figura 8. Concentraciones de arsénico



Fuente: Informe de monitoreo de pozos (DGOA, 2016).

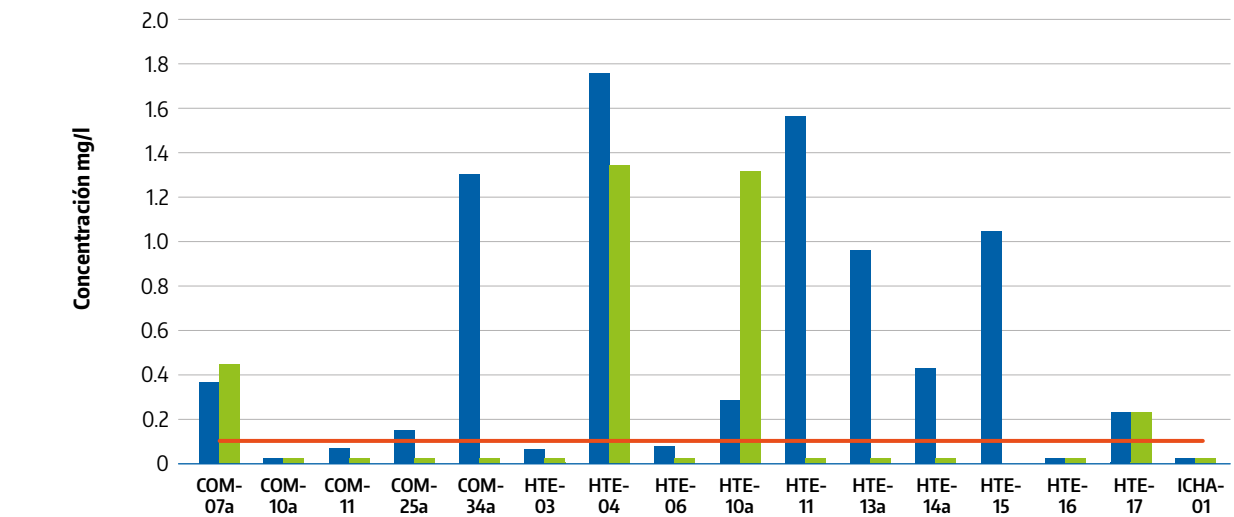
Figura 9. Concentración de hierro



	COM-07a	COM-10a	COM-11	COM-25a	COM-34a	HTE-03	HTE-04	HTE-06	HTE-10a	HTE-11	HTE-13a	HTE-14a	HTE-15	HTE-16	HTE-17	ICHA-01
Época seca	2.038	0.0089	0.209	0.271	0.056	0.147	0.607	0.392	0.971	1.912	0.56	0.589	2.222	0.042	0.0089	0.0089
Época lluviosa	1.979	0.0089	0.0089	0.982	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	2.796	0.0089	0.0089	0.0089	-	0.0089	0.0089	0.0089
Norma	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300

Fuente: DGOA, 2016.

Figura 10. Concentración de manganeso



	COM-07a	COM-10a	COM-11	COM-25a	COM-34a	HTE-03	HTE-04	HTE-06	HTE-10a	HTE-11	HTE-13a	HTE-14a	HTE-15	HTE-16	HTE-17	ICHA-01
Época seca	0.366	0.024	0.07	0.148	1.3	0.062	1.75	0.1	0.281	1.562	0.957	0.43	1.043	0.024	0.232	0.024
Época lluviosa	0.444	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	1.341	0.024	1.314	0.024	0.024	0.024	-	0.024	0.228	0.024
Norma	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: DGOA, 2016.

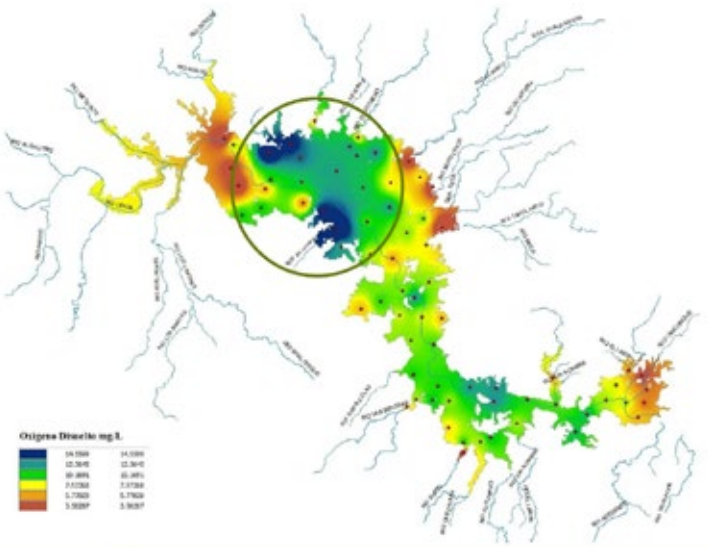
trica Cerrón Grande en 1976. En el embalse confluyen tres principales ríos de cuencas urbanas y de agro-industria, como son la cuenca del río Suquiapa que recoge las aguas de la ciudad de Santa Ana, del río Sucio cuya cuenca está formada por amplias regiones agrícolas, habitacionales e industriales, y la cuenca del río Acelhuate que constituye el ámbito hidrográfico del AMSS.

Además de conocer las condiciones del humedal, el estudio de la UCA tuvo por objetivo establecer una metodología de monitorización continua de la calidad del agua como un proyecto piloto, evaluando, por otra parte, tecnologías avanzadas para su monitorización remota. Con ello se realizaron mapas de calidad del agua y se integraron nuevas tecnologías de internet y *Wireless Sensor Networks*, utilizando métodos numéricos, herramientas de simulación y sistemas de información geográfica. En la **Figura 11** se refleja la dispersión espacial del oxígeno disuelto de la capa superficial en distintas coloraciones, reflejadas en azul las concentraciones en el orden de 14 mg/lt y en anaranjado-rojo las de 3.5 a 5 mg/lt. En la **Figura 12** se presentan resultados de muestras de agua desde su entrada al embalse en la zona Noroeste hasta su salida en la zona de punto del dique al Sureste, observándose que las grandes concentraciones se presentan a la entrada del embalse, producto de ser la zona de confluencia e ingreso al embalse de los ríos Acelhuate, Suquiapa y Sucio.

Por otra parte, se llevó a cabo una caracterización del tipo de algas, representando los grupos taxonómicos encontrados, tal como se ilustra en la **Figura 13.**

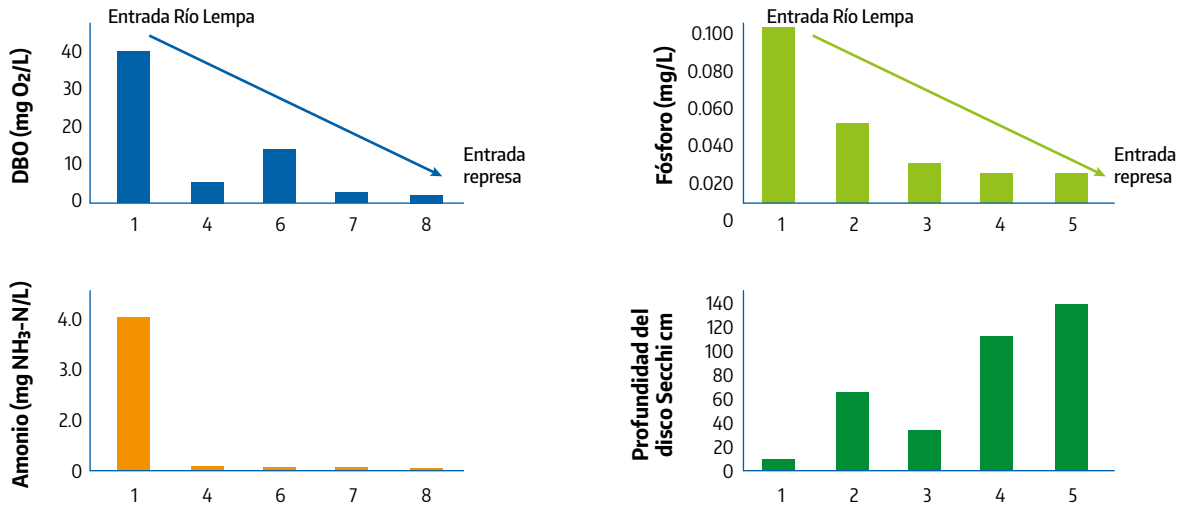
Por su parte, el MARN, a través del Informe "Control de Jacinto de Agua" (2016), reporta altos niveles de eutrofización en humedales de importancia a nivel nacional, alcanzándose valores de 50 a 60% de cobertura de jacinto acuático (Eichhornia crassipes), tal como es el caso de los sitios RAMSAR, Olomega y Jocotal ubicados en el oriente del país, y la Laguna de Nahualapa en la zona central. De acuerdo con el informe, estos ciclos anuales recurrentes de eutrofización son generados por el alto contenido de nutrientes (nitratos y fosfatos), así

Figura 11. Dispersión de oxígeno disuelto, embalse Cerrón Grande



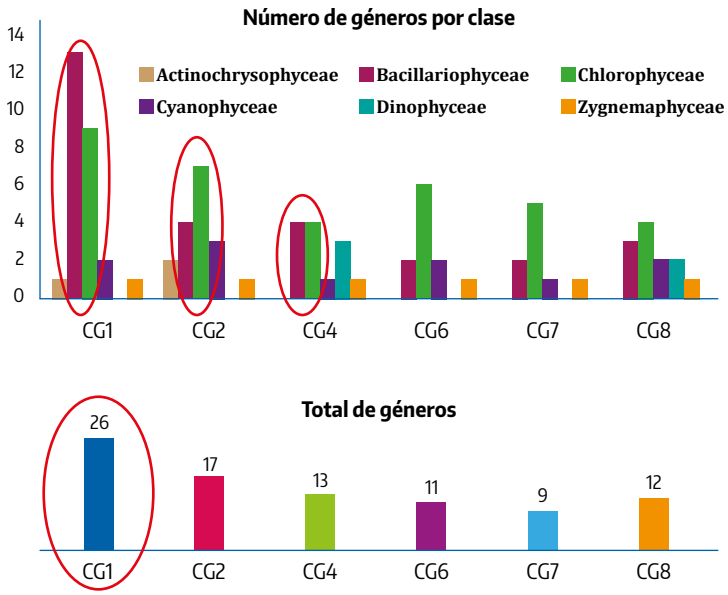
Fuente: UCA, 2013.

Figura 12. Resultados de muestras de agua, embalse Cerrón Grande



Fuente: UCA, 2013.

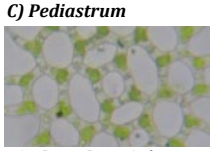
Figura 13. Grupos taxonómicos encontrados, embalse Cerrón Grande



A) Microsystis

B) Synedra

C) Pediastrum


D) Clorophyta **(género no identificado)**

Fuente: UCA, 2013.

como de materia orgánica que ingresan a los humedales provenientes de aguas residuales domésticas y remanentes lixiviados de zonas ganaderas. En la **Figura 14** se observa la remoción de jacinto de agua en Olomega, departamento de La Unión.

Otro sitio de importancia para análisis es el lago de Coatepeque, el cual representa uno de los sitios turísticos y de belleza natural de mayor importancia en el país que se encuentra inmerso dentro de la cordillera Apaneca-Ilamatepec, Parque Nacional Los Volcanes, siendo un ámbito geográfico declarado Reserva de la Biósfera por la UNESCO en 2007. El lago posee una superficie de 24.8 km^2, una elevación de 740 msnm y una cuenca hidrográfica con un área de 70.25 km^2, la cual se encuentra conformada por laderas y paredones que circundan el lago y alcanzan alturas entre 250 y 300 m. Su cuenca es endorreica, es decir, el escurrimiento pluvial no tiene salida sino que escurre desde las laderas que lo bordean, dada su formación geológica volcánica, directamente hacia el lago, el cual posee conexiones subterráneas con otros ríos de la zona.

Esta fisiografía hace que todas las acciones antrópicas, de carácter turístico y agroproductivo, que se desarrollan en sus riberas y laderas, repercutan directamente sobre la condición de sus procesos naturales y su sistema bio-acuático.

Figura 14. Fotografía de remoción de jacinto de agua

Fuente: MARN, 2016.

En la última década se han registrado eventos de cambios de coloración en el Lago de Coatepeque, los cuales han ocurrido en octubre de 2006, septiembre de 2012, septiembre de 2015, agosto de 2016 y junio de 2017 durante la época lluviosa, alcanzando en esta última fecha 20 del 100% de la tonalidad turquesa que alcanzó en el año 2012 (ver **Figura 15**).

Esta situación se ha venido monitoreando por la Universidad de El Salvador (UES) y por el MARN (2016) desde la ocurrencia del primer evento, evaluándose algunos parámetros físico-químicos como

el oxígeno disuelto, la temperatura superficial, el pH y el nivel de transparencia mediante el disco de Secchi. En el último evento de junio 2017, al igual que en agosto de 2016, se detectó de presencia de cianobacterias, principalmente del tipo *Microcystis aeruginosa* (ver **Figura 16**). De acuerdo con los resultados se encontró una temperatura estable de 26.9° en la capa superficial con una profundidad de 16 m, hasta donde se sitúa la termoclina, con un pH de 8.5 y con una concentración de oxígeno disuelto de 6 a 7.5 mg/lt, empezando a decrecer a medida que se incrementa la profundidad.

Figura 15. Lago de Coatepeque

Figura 16. Estudio Universidad Nacional

"Intensa proliferación de cianobacterias en Lago Coatepeque, Santa Ana; ensayos de toxinas paralizantes y organismos causantes"

Espinoza Navarrete J. J.
Profesor Laboratorio de Toxinas de la Universidad de El Salvador. jjajaen@gmail.com

Amaya Monterrosa O. A.
Profesor Escuela de Física. Laboratorio de Toxinas marinas de la Universidad de El Salvador. oscar.amaya@ues.edu.sv

Rivera Torres W. E.
Auxiliar de Investigación Laboratorio de Toxinas Marinas de la Universidad de El Salvador. wert_1_05@hotmail.com

Ruíz Rodríguez G. A.
Investigador Laboratorio de Toxinas marinas de la Universidad de El Salvador. proggerardo@gmail.com

Escobar Muñoz J. D.
Auxiliar de Investigación Laboratorio de Toxinas Marinas de la Universidad de El Salvador. kla_1987@hotmail.com

Fuente: UES, 2013.

De acuerdo con el estudio efectuado por la UES (2013), se determinó para los cinco puntos de muestreo una población promedio entre 10,000 a 60,0000 cel/ml, y hasta un valor máximo de 130,000 cel/ml, siendo en este evento de septiembre de 2012 donde el lago adoptó una coloración turquesa práctica-

Figura 17. Muestreo de parámetros

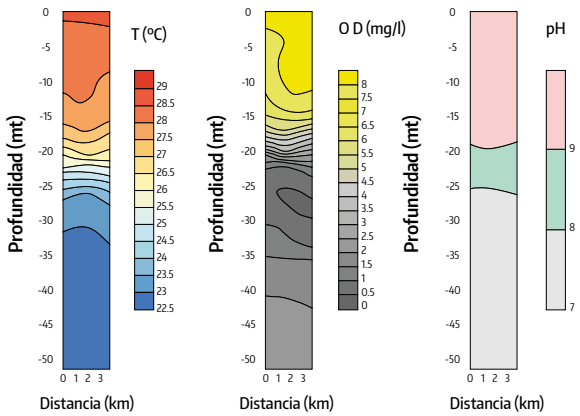
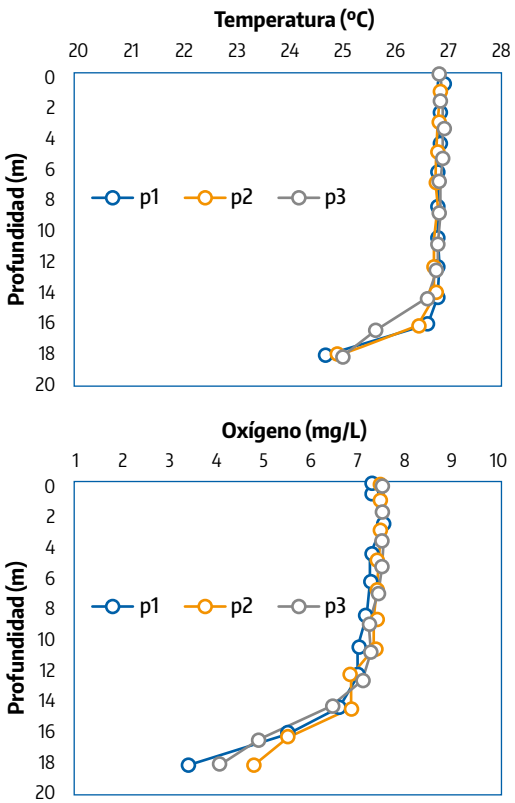


Figura 18. Variación de parámetros con la profundidad



Fuente: MARN, 2016.

mente en toda su superficie. Sin embargo, los eventos de 2016 y 2017 fueron de menor intensidad que el observado en 2012. Algunos de los parámetros analizados por el MARN en el año 2016 se presentan en las **Figuras 17 y 18.**

De acuerdo con los lineamientos de la OMS, las floraciones y acumulaciones de cianobacterias pueden ocurrir ante la presencia de altas concentraciones de nutrientes (fósforo y nitrógeno), los cuales generalmente provienen de efluentes de aguas residuales y escurrimientos con concentraciones remanentes de fertilizantes agrícolas, lo cual se ve incrementado por la susceptibilidad a la erosión, deforestación y el arrastre sedimentario, tal como se da en algunas zonas de la cuenca hidrográfica del Lago de Coatepeque. Estas floraciones o *blooms* pueden ocurrir por periodos de duración variada durante horas, semanas o estacionales, y su acumulación tiende a ser recurrente en los mismos cuerpos de agua. Su tejido celular puede acumularse como escoria, por lo general en la superficie o en la zona termoclina de cuerpos de agua térmicamente estratificados. Las floraciones son resultado de un estado cambiante, que puede ser suscitado por enriquecimiento de nutrientes como agentes externos en los ecosistemas acuáticos (ver **Figuras 19 y 20**). La OMS ha establecido un valor guía para agua potable de 0.001 mg/L (1.0 µg/L) para la presencia de cianotoxinas o microcystina total RL. De igual forma, para uso recreacional establece un valor guía de 20,000 cel/ml.

Las toxinas se liberan con el envejecimiento del florecimiento de las células, o bien, por el tratamiento con alguicidas (derivados del cobre o herbicidas orgánicos), lo cual propicia la ruptura de las células. Así, por ejemplo, el tratamiento de la floración celular con sulfato de cobre puede llevar a la muerte celular y a una liberación completa de toxinas al agua circundante.

De acuerdo con estudios epidemiológicos prospectivos citados en el documento *Cianobacterias y cianotoxinas: Impactos sobre la salud humana* (García, s/f), los efectos medidos fueron: irritación ocular, erupción cutánea, vómitos, diarreas, signos de resfrío, úlceras en la boca y fiebre, derivados del contacto recreacional con aguas que reportaron la presencia de *Microcystis* spp en concentraciones principalmente mayores a 20,000 cel/ml y en contacto de baño por tiempos prolongados, pudiéndose agravar a daño hepático acumulativo cuando la exposición se hace recurrente.

Figura 19. Cianobacterias en el Lago Coatepeque 2017

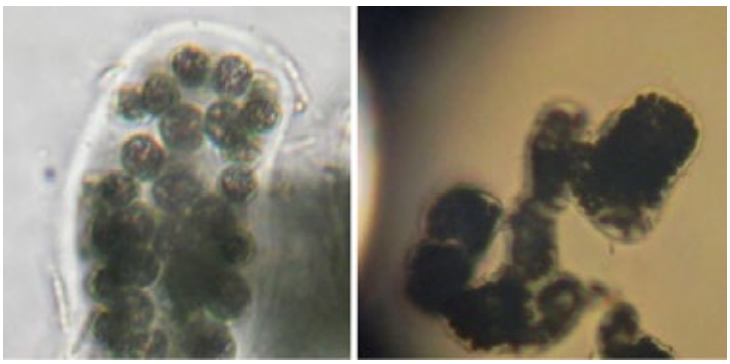


Figura 20. Puntos de muestreo Lago de Coatepeque 2016

Considerando esta situación en el año 2016, el MARN implementó acciones para mejorar el saneamiento, llevando a cabo la *"formulación de lineamientos para el manejo de aguas residuales en el lago de Coatepeque, los cuales dan respuesta al diagnóstico elaborado en 472 actividades que se realizan en la ribera del lago y que identifica deficiencias en el vertido de sus aguas residuales. Se elaboraron las propuestas específicas de tratamiento y vertidos para las actividades identificadas en restaurantes (100 visitantes por día), quintas recreativas y viviendas"* (MARN, 2017:54).

3.2 Agroquímicos

El uso intensivo de agroquímicos se ha vuelto uno de los principales agentes contaminantes que impactan las aguas superficiales y subterráneas, especialmente en algunas zonas de la planicie costera, lo cual afecta grandemente los medios de vida de la población local en lo referente al abastecimiento de agua para diferentes usos domésticos, en la producción de alimentos y en la salud de sus habitantes.

De acuerdo con los reportes anuales del MINSAL (2013-2014 y 2014-2015), las Enfermedades Crónicas No Transmisibles (ECNT) se han vuelto un reto mayor para el sistema de salud debido al creciente número de personas afectadas y atendidas en los centros hospitalarios en comparación con las estadísticas que se tenían en 2008-2009. Entre las de mayor recurrencia, se encuentra la Enfermedad Renal Crónica (ERC) que, de acuerdo con investigaciones (MINSAL, 2015: Cap. 4), presenta en los estadios tempranos su naturaleza tóxica en pacientes directamente relacionados con el uso de agroquímicos o que residen en zonas de gran exposición a éstos, lo cual impacta adicionalmente y en gran medida en las fuentes de agua, principalmente en los pozos artesanales de los acuíferos superficiales situados en las zonas bajas del país o llanura costera, que son esenciales para el abastecimiento de la población, siendo esa zona el ámbito hidrográfico donde se ha reportado la mayor cantidad de casos.

En los estudios se ha determinado un tipo de ERC cuyo origen es diferente a las variables causales según promedios globales, en los que la ERC se encuentra asociada de 43 a 50% a la Diabetes Mellitus y de 20 a 30% a la hipertensión arterial. Para el año 2013, la ERC se estableció como la primera causa de defunciones en el sistema público de salud. Por otra parte, el MINSAL determinó que los efectos nocivos de la agroindustria, la minería y los agroquímicos, suponen un elevado número de personas afectadas, una creciente contribución a la mortalidad general, una incidencia cada vez mayor en la carga de discapacidad prematura de la población, un complejo nivel de abordaje y elevados costos de atención. Algunas de las investigaciones que han servido de base para abordar esta problemática y la adopción de medidas son las siguientes: PAHO (2013), MEDICC Review (2014), Orantes, C.M. (2009), Jayasumana, C. et al. (2014), entre otras.

De acuerdo con dichos estudios, se establece que la deshidratación y el calor extremo son factores coadyuvantes y no se constituyen en factores primarios causantes del daño renal. Por otro lado, según lo referido por el MINSAL, estudios histopatológicos con énfasis en los estadios tempranos de la enfermedad confirman que el daño renal de pacientes que han estado sistemáticamente expuestos a agroquímicos se debe a daño tubular, lo cual es consistente con el origen tóxico de la afectación. América Central es la principal región del mundo en utilizar de manera intensiva estos productos, estimándose que alrededor de 400,000 personas pueden sufrir un episodio sintomático de intoxicación por agroquímicos cada año.

A raíz de la presentación y análisis de estas investigaciones, se logró incidir en la aprobación de la Ley de Control de Pesticidas, Fertilizantes y Productos de Uso Agropecuario, que tiene por objeto regular la producción, comercialización, distribución, importación, exportación y uso de pesticidas, fertilizantes, herbicidas, mejoradores y demás productos químicos o químico biológicos para usos agrícola, pecuario, veterinario y sus materias primas. Adicionalmente, en seguimiento al monitoreo de dichos agentes contaminantes, el MINSAL incorporó en 2015 al monitoreo del agua potable el análisis de plaguicidas carbamatos, organoclorados y paraquat. De 386 muestras analizadas, 41% dio positivo en carbamatos; de un segundo grupo de 461 muestras, en 74.19% se encontró paraquat y, de un tercer grupo de 296 muestras, 36.48% resultó positivo a la presencia de organoclorados. En la **Tabla 3** se presenta el resultado consolidado de análisis de agua para consumo humano, realizado a nivel nacional en el periodo 2016-2017.

Con la finalidad de fortalecer su campo de acción sobre esta problemática, el MINSAL coordinó esfuerzos junto con el MAG y el MARN para reac-

Tabla 3. Resultados del análisis de agua para consumo humano

Tipo de análisis	Total de muestras	Total dentro de norma	Porcentaje dentro de norma
Bacteriológico	7881	7315	92.82%
Físico-Químico	752	596	79.26%
Traza de metales	459	317	69.06%

Fuente: MINSAL, 2017.

tivar la Comisión Nacional de Plaguicidas (CONAPLAG) y llevar a cabo la formulación y actualización de documentos regulatorios, entre ellos, el Reglamento Técnico Salvadoreño de Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas Químicos en Frutas y Hortalizas, la Norma de Calidad de Fertilizantes y sus Materias Primas, la Norma de Constatación de Calidad de Plaguicidas y la actualización del Acuerdo No.18 para la restricción del uso de 12 plaguicidas, entre ellos, dicamba, terbufos, forato, aldicard, glifosatos y paraquat. De igual forma se llevó a cabo la Declaración de San Salvador: Abordaje de la Enfermedad Renal Túbulo Intersticial Crónica (ERTCC) de Centroamérica que afecta predominantemente a las comunidades agrícolas, en San Salvador, el 26 de abril de 2013.

3.3 Metales pesados

La contaminación por metales pesados se ha reflejado de forma específica y significativa en zonas de incidencia de exploración minera en el norte del país, en el departamento de Cabañas, y en el oriente, en el Municipio de Santa Rosa de Lima, con afectación directa al río San Sebastián (Pacheco et al., 2016).

En el caso de Cabañas, en los municipios de Guacotecti, San Isidro e Ilobasco, el MINSAL confirmó a partir de 2013 la presencia de arsénico en concentraciones muy superiores a las permitidas y tres parámetros químicos que requieren tratamiento especial. Esta situación es de especial importancia, ya que esa región en el norte del país, se caracteriza por una marcada escasez hídrica, por su alta dependencia de actividades agropecuarias para la alimentación de las comunidades locales y por la presencia, hasta hace algún tiempo, de industrias mineras internacionales que durante muchos años realizaron exploraciones en espera de los permisos definitivos para su explotación del oro en la zona, lo cual implicó el desvío de ríos, la retención de flujos y la utilización de cianuro, mercurio y arsénico, en los sondeos que han dejado una huella residual en las fuentes de agua comunitarias.

Tomando en cuenta el caso de la mina San Sebastián y debido a la afectación directa en la salud de residentes de los municipios del Departamento de Cabañas y a las fuertes protestas de las organizaciones sociales, ambientales, universidades y de la Iglesia Católica, así como a la denuncia de las comunidades por más de 12 años acerca de la contaminación en el suelo, en los alimentos y en el agua, y a la alta conflictividad que se generó en esa misma zona del Departamento de Cabañas –lo que cobró varias víctimas mortales locales– el 29 de marzo de 2017 se decretó finalmente por la Asamblea Legislativa, mediante voto de consenso de todas las fracciones políticas, la prohibición nacional de la minería metálica y el uso de sustancias tóxicas como el mercurio y el cianuro.

3.4 Deforestación

Los procesos de deforestación y cambios de uso del suelo por el avance de las plantaciones agrícolas y la expansión urbana repercuten significativamente en la disponibilidad y calidad del agua, ya que se pierden zonas de recarga hídrica y amortiguamiento natural, contribuyendo a incrementar los procesos de erosión, la pérdida de suelo y regulación climática local, la percolación de agentes contaminantes al subsuelo y una mayor contaminación atmosférica y ambiental.

De acuerdo con el enfoque de los ODS, los árboles y los boques cumplen una función esencial en el ciclo del agua, la fijación del carbono, la agroproducción de alimentos y el mantenimiento de los ecosistemas como forjadores de los medios de vida de las poblaciones locales, cuando están integrados desde un enfoque de agroforestería y producción diversificada. Con ello se propicia una mayor protección y conservación de los suelos, el incremento de los rendimientos agrícolas, la disminución del uso intensivo de agroquímicos y el fomento de las cadenas biológicas y microorganismos en el suelo que contribuyen a la fijación de nutrientes y mejoras en los cultivos.

Históricamente, El Salvador se ha situado entre los países más deforestados del continente y actualmente en el informe de FAO (2016) sobre El Estado de los Bosques del Mundo, es ubicado entre los países que han experimentado un *"aumento neto de la superficie agrícola y una pérdida neta de la superficie forestal",* lo que resulta contrario a los lineamientos de los ODS que promueven la intensificación agrícola sin incrementar su extensión, entre otros aspectos, mediante la implementación tecnológica y la diversificación agrícola sostenible. Por otra parte, considera que los países que promueven la inversión y el valor añadido en la agricultura han emprendido con mucha mayor eficacia el problema

de pérdida de bosques que aquellos cuyas inversiones son escasas, destacando que los casos exitosos de preservación e integración de los bosques en las estrategias de seguridad alimentaria propician un aumento de la productividad de la agricultura. En ese sentido, a diferencia del resto de países de Centroamérica, únicamente Costa Rica ha experimentado un *"aumento neto de la superficie forestal y pérdida neta de la superficie agrícola"*.

En el ámbito urbano, los procesos de eliminación de la cobertura arbórea suponen un impacto directo en la salud de las personas, en la pérdida de microclimas y espacios públicos con sombra natural y en la pérdida de la fijación del carbono y regulación de la contaminación del aire.

Según las estadísticas de la OMS (WHO, 2016) para el año 2012, El Salvador figura entre los siete países con mayor tasa de mortalidad atribuida a la contaminación ambiental del aire con 44.6 defunciones/100,000 hab. De igual forma, en el año 2014 figura como el segundo país, de un total de 34 países americanos considerados en el reporte, con la concentración promedio anual más alta de material particulado en las áreas urbanas (PM2.5) de 37.1 $\mu g/m^3$, detrás de Honduras que reporta 40.3 $\mu g/m^3$, siendo el valor guía permisible de 15 $\mu g/m^3$ de acuerdo con normativas locales.

Un aspecto que ha incidido notablemente en la pérdida de calidad de vida y de los espacios públicos en las principales ciudades ha sido la elimina-

Figura 21. Imágenes urbanas de la eliminación de la cobertura arbórea

ción paulatina de la cobertura de árboles plantados en la década de los 70, debido a los programas de liberación de espacio para el paso del tendido eléctrico que implementan las compañías eléctricas y las municipalidades, ampliaciones de vías y parqueos, instalación de rótulos publicitarios, ampliación aérea para vista pública de áreas comerciales, etcétera, lo cual ha constituido una verdadera depredación irreparable del más importante patrimonio natural del área metropolitana y de otras ciudades que brindaba beneficios múltiples. Muchos de los árboles cortados en su follaje y ramas principales pierden su configuración y simetría natural, volviéndose un riesgo de caída en la época invernal o de fuertes vientos. Una muestra de ello se observa en las imágenes que se presentan en la **Figura 21.**

Desde 2008, el MARN cuenta con estaciones de monitoreo del aire, estableciéndose la medición de los parámetros de monóxido de carbono (DO), dióxido de azufre (SO2), óxido de nitrógeno (NO2) y material particulado (PM10 y PM2.5) medidos en $\mu g/m^3$.

De acuerdo con la normativa salvadoreña se establece como límite permisible de partículas PM10 = 50 anual y 150 en 24 horas medidos en $\mu g/m^3$. Se establece para PM2.5 = 15 anual y 65 en 24 horas. De acuerdo con los promedios diarios para PM2.5, el MARN (2016) reportó en su informe sobre Días de Mayor Contaminación Reportados por las Estaciones Automáticas en el AMSS 2009-2016, los siguientes días fuera de la norma para los siguientes años con 365 días medidos en la estación UDB: 2012 = 97, 2013=97, 2014=65 y 2015=18.

Esta situación se refleja significativamente en un impacto a la salud de las personas, pues de acuerdo con los informes de labores del MINSAL, de forma interanual las *"infecciones agudas de las vías respiratorias ocupan el primer lugar de las causas de consulta en la red de establecimientos del MINSAL y la segunda causa de hospitalizaciones lo cual es correspondiente a la alta contaminación ambiental y baja calidad del aire que se manifiesta en las elevadas concentraciones de partículas perniciosas para la salud de la población".* De igual forma sostiene que esta situación es generadora de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, cambios crónicos en las funciones fisiológicas, restricciones en el crecimiento intrauterino propiciando bajo peso al nacer y retraso en el crecimiento.

Tomando en cuenta la problemática de la deforestación y la pérdida de bosques, el MARN llevó a cabo la Jornada "Plantatón 2017" en 215 sitios identificados a nivel nacional y con la movilización de voluntarios en varios puntos del país, consistente en la siembra de 13 millones de árboles de acuerdo con el Informe de Labores del MARN, junio 2017-mayo 2018. El proyecto se enmarca en los esfuerzos de restauración de áreas y paisajes degradados, con el fomento de la participación ciudadana, la educación y la sensibilización en materia ambiental. Un aspecto importante debería ser la inclusión de un cronograma de seguimiento y mantenimiento ya que, en el pasado, campañas de reforestación como parte de compromisos por implementación de proyectos económicos, viales, industriales, etcétera, los logros iniciales en la plantación de árboles se han desvanecido en el futuro debido a la pérdida de las plantillas por falta de riego y mantenimiento en los años iniciales.

3.5 Salinización

Desde la perspectiva de las aguas subterráneas, la intrusión marina en algunas zonas costeras es un fenómeno que se ha acentuado debido, en parte, a la pérdida gradual de las áreas naturales de amortiguamiento en la interface costero-marina –como son el bosque de mangle y el bosque subtropical húmedo– y, por otra parte, a raíz de la extracción excesiva de agua dulce en los acuíferos someros o superficiales (10-25 m) y profundos, lo que induce un desequilibrio de presiones hidrostáticas que posibilitan el ascenso de la cuña marina, contaminando el agua dulce y la zona superficial de aprovechamiento de agua, principalmente a través de los pozos artesanales de la población local. Esta situación también se ve acrecentada debido a la reducción o eliminación de flujos de los ríos y afluentes naturales que drenan a la zona costera, mismos que, al disminuir su nivel, pierden interacción con las zonas ribereñas y con las aguas subsuperficiales del acuífero somero, lo que propicia una descarga o aporte lateral de flujos del acuífero hacia los cauces de los ríos y, por consiguiente, una disminución de los niveles freáticos.

Esta disminución de los flujos de los ríos, principalmente en la época seca, es algo que se ha venido experimentando en las últimas dos décadas debido a los procesos de deforestación, ampliación de la fron-

tera agrícola y reducción de la capacidad de infiltración de las zonas de recarga hídrica en las cuencas hidrográficas, lo cual repercute en una disminución de los afloramientos y nacimientos de agua que sustentan los caudales base de los ríos.

Por otra parte, ante la creciente demanda de agua para riego, generado principalmente por la expansión de plantaciones agrícolas, una práctica común ha sido el cierre de cauces de pequeños ríos y afluentes tributarios mediante diques provisionales, lo cual genera la retención de caudales y el represamiento de aguas para su extracción mediante motobombas que impelen los flujos a los sistemas de distribución de riego por aspersión, o bien, mediante una red de canaletas para el mantenimiento de la humedad del suelo, tal como se ha presentado en el occidente del país. Esta situación de retención de los flujos repercute, entre otros aspectos, en prácticamente la eliminación de los flujos que ingresan a importantes zonas de ecosistemas costeros, que requieren de los flujos de agua dulce para su supervivencia y sustentación, mediante la mezcla adecuada con el agua salada que ingresa de las corrientes marinas cuando suben los niveles de las mareas.

Un caso de estudio representativo de esta situación ha sido la investigación realizada en el año 2016 sobre las condiciones hidrológicas del acuífero somero en una zona del occidental departamento de Ahuachapán y la eliminación de flujos en la época de verano, los cuales dejan de ingresar al ecosistema manglar debido a la implementación de diques provisionales para la retención de flujos y formación de reservorios para riego de extensiones de caña de azúcar (Quiñónez, 2016). En el mismo se determinó, tomando en cuenta las dinámicas de los flujos intermareales, los flujos requeridos de agua dulce que deberían ingresar a los ecosistemas para el mantenimiento del ambiente estuarino, que debe mantenerse en un rango de salinidad entre 12-22‰ (tanto por mil) equivalentes en promedio a una concentración óptima de sales minerales disueltas de 15,000 mg/l como condición necesaria para la preservación de la biodiversidad y una alta productividad de moluscos y otras especies heterotróficas. Bajo la ausencia de flujos de agua dulce, las condiciones de salinidad de las aguas de los ecosistemas se vuelven equivalentes a la salinidad del agua del mar, en el orden de 35‰, lo cual propicia el deterioro y la pérdida de áreas de mangle, así como la baja productividad de especies de moluscos que afecta grandemente los medios de vida y la economía de las poblaciones locales, tal como ha sucedido en la zona de estudio.

Entre algunos de los análisis físico-químicos efectuados en pozos artesanales claves para el uso de la población local durante la época seca, los resultados establecieron para conductividad eléctrica 840 µS/cm en 2013 y 1,375 µS/cm en 2016. Para sodio se obtuvieron concentraciones de 80.8 mg/l en 2013 y 421.25 mg/l en 2016. En ambos parámetros medidos en 2016 se sobrepasan significativamente los valores guía de agua para consumo humano, siendo para conductividad eléctrica 600 µS/cm y sodio 200 mg/l.

3.6 Aguas residuales e impactos en aguas superficiales, cuerpos de agua y acuíferos

El impacto generado por las aguas residuales en los cuerpos de agua superficiales y acuíferos es muy elevado, tal como se ha reflejado en el Programa de Monitoreo de Aguas Superficiales que lleva a cabo el MARN, y debido al bajo nivel de tratamiento de aguas residuales, que se ha establecido en 8.5% de cobertura pública a nivel nacional. Aunque la cobertura a nivel nacional sobre disposición en servicio sanitario es alta, estimándose en 97.9%, 63.5% de la misma se efectúa a través de fosa séptica y pozo sumidero. Esta disposición, utilizada mayoritariamente en el ámbito rural, ha sido frecuentemente una variable causal de focos de contaminación bacteriológica hacia las aguas subterráneas, debido a diseños deficientes o construcciones inadecuadas con un bajo mantenimiento.

4. Aspectos sociales y económicos

4.1 Salud, pobreza, nivel de educación en las comunidades, género, áreas rurales y urbanas

Para el año 2017 la pobreza a nivel nacional fue de 29.2% y la pobreza extrema de 6.2% de acuerdo con la EHPM (DIGESTYC, 2017), tal como se indica en la **Figura 22**. De igual forma, en la **Tabla 4** puede observarse que la tasa de desempleo es de 7% y la escolaridad promedio a nivel nacional es de ocho grados realizados. El índice de analfabetismo

Tabla 4. Indicadores socio-económicos

Socioeconomic indicator	National	Urban	Rural	Men	Women
Economically Active Population (%)	72.6	62.0	38.0	45.6	54.4
Unemployment rate (%)	7%				
Average schooling (grades completed)	6.8	7.9	5.1	6.9	6.7
Illiteracy rate (%)	10.5	6.7	16.4	8.5	12.2
Poverty (%)	29.2	27.4	32.1		
Poverty Extreme (%)	6.2	5.3	7.7		
Relative poverty (%)	23.0	22.2	24.4		

pasó de 17.97% en 2008 a 10.5% en 2017 con 91 municipios declarados libres de analfabetismo, de un total de 262 municipios en el país. El gasto público en salud se incrementó de 3.7% como porcentaje del PIB en el año 2007, representando US$1,269.6 millones, a 4.5% en el año 2016, representando US$1,821.1millones.

Un aspecto importante lo constituye la reducción permanente del índice GINI que se muestra en la **Figura 23**, pasando de 0.48 a 0.34 entre 2008 y 2017, lo que refleja una reducción en las desigualdades y una mejoría en cuanto a la distribución del ingreso.

Algunas de las políticas públicas que han contribuido a la reducción de las inequidades en el ámbito social y de asistencia pública son las siguientes: el Sistema de Protección Social Universal –que incluyó la entrega de paquetes agrícolas de semillas mejoradas, paquetes escolares de uniformes, zapatos, útiles, y refrigerio escolar–, el trabajo de alfabetización –que cubrió 91 municipios ahora libres de analfabetismo–, el Programa de Apoyo Temporal al Ingreso, el Proyecto Ciudad Mujer, la Pensión Básica Universal a los Adultos Mayores y la Reforma Integral de Salud que redujo considerablemente la carga por enfermedad y contribuyó a reducir el gasto de la población a través de un conjunto de medidas que supuso la eliminación de todo tipo de cobros en el sistema público, la implementación del Programa de Salud Familiar y Atención Especializada a los sectores de más bajos ingresos, así como la aprobación e implementación de la Ley de Medicamentos, la cual supuso un mecanismo de regulación de precios que ha generado un ahorro anual de US$80 millones en gastos de la población y ha permitido un incremento notorio de abastecimiento de medicamentos en la red de servicio público de 50% en 2008 a 85% en 2013.

Si bien todos estos aspectos han significado un logro importante en los indicadores de desarrollo humano asociados a la reducción de la pobreza y

Figura 22. Condición de pobreza

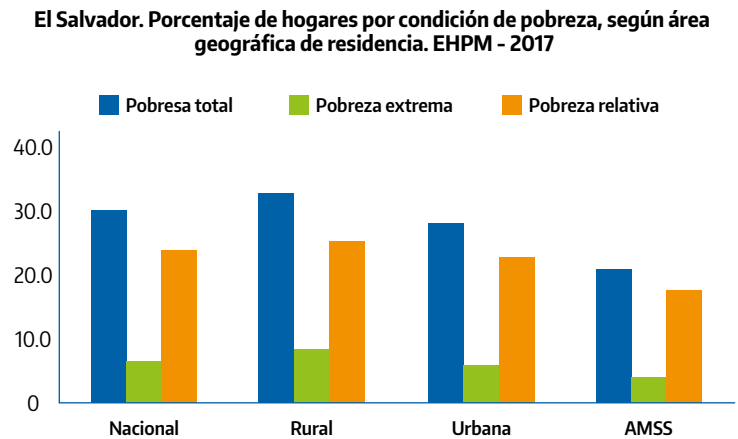
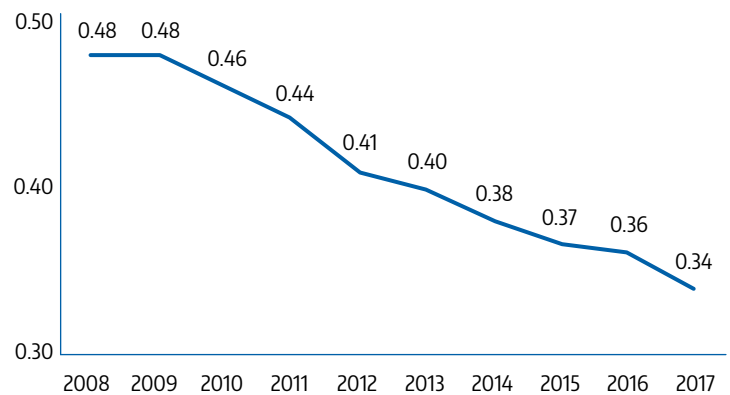


Figura 23. Coeficiente GINI, Indicador de Distribución del Ingreso



Fuente: DIGESTYC, 2017.

las inequidades sociales, por el contrario, el acceso al agua, su calidad y las problemáticas hídrico-ambientales constituyen un desafío primordial, pues estos factores impactan significativamente en el detrimento de la salud y el desarrollo humano sostenible de la población.

En ese sentido, de acuerdo con el MINSAL, la deficiencia del abastecimiento de agua tanto en calidad como en cantidad es un sustrato para la proliferación de enfermedades que requieren un vector para su transmisión como son arbovirosis (chikunguña, dengue, Zika, fiebre amarilla), dado que su carencia obliga a la población de más bajos ingresos a comprar, almacenar y disponer el agua en recipientes dentro de las viviendas, los cuales, al no ser manejados adecuadamente, condicionan índices de casa positivos al vector *Aedes aegypti* hasta 95% en algunas épocas del año. En la misma línea se ha podido establecer que la tasa de incidencia de dengue crece según el estrato poblacional con menor acceso y suministro continuo de agua intradomiciliar, de tal forma que la población con más bajos recursos económicos y que dispone de un menor acceso al agua potable domiciliar presenta las más altas tasas de contagio por dengue, aunado al pago de altos costos por la obtención de agua en recipientes o barriles.

Desde esta perspectiva, aunque la cobertura por cañería de agua para consumo humano es relativamente alta –88.3% a nivel nacional para el año 2017–, las interrupciones o la modalidad de un suministro por horas y en algunos días de la semana, principalmente en las zonas periurbanas y rurales, se vuelve un factor determinante en la reducción de la calidad del agua y, por consiguiente, supone un gran impacto a la salud de la población.

5. Avances en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS-6)

Una de las metas prioritarias que encierra el ODS-6 es el acceso universal a agua potable y saneamiento a un precio asequible, considerando que al menos a la mitad de los flujos no tratados se les debe brindar tratamiento a 2030. Ello supone que 54.3% de los flujos debe ser tratado adecuadamente en los próximos 12 años.

Por lo que respecta al agua a nivel nacional, según la EHPM (DIGESTYC, 2017), el servicio y acceso de agua mediante tubería es de 88.3%, incluyendo suministro domiciliar, chorro o cantarera pública y acarreo desde instalación del vecino. El 11.7% de la población se abastece de pozos artesanales, manantiales o arroyos, o bien, a través de la compra directa a camiones cisterna u otros medios. En el área urbana el acceso de agua mediante cañería es de 95.5% y en el área rural es de 75.6%.

En cuanto al saneamiento y disposición de excretas mediante servicio sanitario, para el año 2017 se tuvo una cobertura a nivel nacional de 97.9%, incluyendo disposición a través de la red de alcantarillado y a través de fosa séptica y pozo sumidero. Considerando esta cobertura, 36.5% se efectúa a través de alcantarillado y 63.5% se efectúa mediante fosa séptica y pozo sumidero.

Sobre este punto, el ODS-6 tiene como meta alcanzar un saneamiento adecuado y equitativo, e higiene para todos, haciendo énfasis en que el saneamiento mejorado no sólo debe consistir en propiciar una disposición adecuada de las excretas, que no exista defecación al aire libre y el uso de jabón de manos para mantener la higiene y la salud, sino, además, el adecuado tratamiento de las aguas fecales domésticas mediante sistemas unifamiliares o colectivos que garanticen la no contaminación del subsuelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales.

Aunque se encuentran en marcha acciones importantes dirigidas al cumplimiento de los ODS-6 –tal como se ha indicado en los antecedentes– referentes a la implementación de normativas, reglamentos, planes de recuperación de ríos, diseños, mejoras y construcción de sistemas de tratamiento, es importante establecer con base en ello un cronograma de seguimiento, monitoreo y verificación de los planes de acción, así como de las estrategias y niveles de tratamiento que periódicamente se van alcanzando en interacción con el conjunto de la sociedad.

Por otro lado, la protección y restauración de los ecosistemas adquiere un lugar fundamental en los ODS, destacando al respecto los esfuerzos actuales y los compromisos asumidos por El Salvador en 2012 con respecto a la restauración de 1 millón de hectáreas antes de 2030, es decir, casi la mitad del país (extensión territorial: 2.1 millones de ha) en el

marco de los Desafíos de Bonn-2017, los cuales se interrelacionan con los objetivos ODS-6 y ODS-15 en la lucha contra la desertificación y la sequía, la promoción de la biodiversidad y la gestión sostenible de los bosques.

Aunque ya se cuenta con planes de acción y proyectos orientados a la restauración, los mismos se basan fundamentalmente en la implementación de sistemas agrosilvopastoriles, bosque de galería de ribera de ríos, sistemas de agroforestería en torno a monocultivos y renovación del café, entre otros, sin que se contemple explícitamente la promoción e implementación del bosque natural o primario como parte de la estrategia nacional de restauración de ecosistemas. Este aspecto es importante reconsiderarlo y redefinirlo, pues los bosques nativos contribuyen con tasas de captura del carbono muy altas, por ejemplo, en el orden de 468 t/ha para el bosque de Encino, tomando en cuenta el carbono presente en la hojarasca sobre el suelo, en las raíces y en la cobertura aérea (Bernardus, 2001), muy superior al aporte que brindan los sistemas agropastoriles y agroforestales (captura de carbono promedio de 120 t/ha), contribuyendo los bosques nativos, por otra parte, a reconstituir los ámbitos de biósfera para la producción y preservación de oxígeno, suelo, biodiversidad y agua.

6. Experiencias satisfactorias en mejoras de la calidad del agua

6.1 Restauración de cuencas y planes de protección

La recuperación de fuentes de agua y de las condiciones de productividad de los suelos, a través de un extenso trabajo de reforestación en laderas y zonas de recarga, construcción de acequias de infiltración en curvas de nivel, diversificación de la producción agrícola y medidas para reducir el arrastre sedimentario y la erosión constituyen una muy buena experiencia llevada a cabo en la microcuenca *La Poza,* ubicada en el departamento de Usulután (GWP, 2008). La microcuenca tiene una extensión de 10.4 km^2 y la problemática más grande que se planteaba hacia el año 2002 era la dificultad creciente de acceso al agua para el abastecimiento de unas 15 mil personas. Mediante el trabajo comunitario, la implementación de un sistema de pago por servicios ambientales, el apoyo de varias ONG y cooperantes internacionales se logró recuperar la cuenca y superar la problemática, obteniéndose al cabo de pocos años un sustancial y suficiente incremento en la disponibilidad en cuanto a cantidad y calidad del agua (Rivera, 2008), además de un crecimiento de la conciencia hídrico ambiental de los pobladores.

6.2 Experiencias piloto

El proyecto de reforestación VIDA emprendido por la Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa CEL en el año 2015 ha llevado a cabo hasta mediados de 2018 la siembra de 2 millones de árboles en áreas cercanas a la represa hidroeléctrica 15 de Septiembre, pertenecientes a subcuencas del río Lempa en el departamento de San Vicente. De acuerdo con sus representantes, este proyecto se va a ir ampliando por fases hacia nuevas áreas y tiene por objetivo restaurar algunas subcuencas afluentes a los embalses hidroeléctricos y ayudar al bienestar y calidad de vida de las familias que viven en dichas subcuencas.

Otra experiencia que se presenta con una gran perspectiva de continuidad y permanencia en el futuro es la iniciativa "Plantatón", cuyas ediciones 2017 y 2018 fueron lideradas por el MARN y surgidas a partir del Consejo Nacional de Sustentabilidad Ambiental y Vulnerabilidad (CONASAV) y con el apoyo de varias entidades de cooperación, municipalidades y organizaciones relacionadas con la promoción del medio ambiente. Tal como se indicó anteriormente, en el año 2017 se plantaron 13 millones de árboles, entre ellos, alrededor de 12 millones de plantillas de café aptos para sembrar. El 5 de junio de 2018, en el marco del Día Mundial del Medio Ambiente, se proyectó como meta la siembra de 5 millones de árboles.

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- La situación de la calidad del agua se ha vuelto, en el nivel de algunas instancias, una temática de preocupación e interés primordial por su afectación a la salud, al abastecimiento de la población, a la preservación de los eco-

sistemas y por sus impactos en la disponibilidad para los diferentes usos. Ante ello se han llevado a cabo importantes acciones, planes y programas desde entidades públicas –MARN y MINSAL–, organismos de cooperación, y organizaciones sociales y ciudadanas dirigidas a la descontaminación en áreas prioritarias, a la construcción de infraestructura de tratamiento de aguas residuales en algunos sitios, al monitoreo de la calidad del agua y a la elaboración de estudios e investigaciones que han contribuido a la comprensión y al abordaje de las problemáticas planteadas. Ello se ha efectuado dentro de una mayor coordinación interinstitucional y con el fomento de la participación ciudadana y comunitaria, aunque con una escasa divulgación, socialización y discusión pública y política de la problemática y sus soluciones, de sus avances y de sus implicaciones, siendo una temática que debería ocupar un primer orden de interés y atención en la vida nacional.

- La falta de una Ley General del Agua basada en la equidad y prioridad del derecho humano y asequible al agua y a la sustentabilidad de los ecosistemas, bajo la gobernanza de un ente rector de carácter público, limita enormemente la conformación de una estrategia planificada y un modelo de gestión dirigido al saneamiento, a la descontaminación y a la preservación de la calidad del agua. Esta ausencia también se vuelve un impedimento para el establecimiento de políticas públicas, su financiamiento y lineamientos consensuados para impulsar un modelo de desarrollo socio-económico compatible con la preservación del agua.

Sin embargo, no se ha aprovechado suficientemente la potestad de promulgar Decretos de Ley desde el Ejecutivo, los cuales, aunque puedan tener carácter transitorio, contribuirían a perfilar y emprender un rumbo mucho más sólido y definido en materia de la preservación hídrica ambiental, y en interacción con otras leyes sectoriales e institucionales.

Los estudios e investigaciones realizadas mediante convenios de cooperación internacional, y a través de proyectos y trabajos de grado de universidades y expertos en el campo nacional, efectuadas algunas de ellas bajo convenios con entidades públicas, han contribuido notoriamente a ampliar el análisis, el monitoreo y conocimiento de situaciones puntuales sobre la calidad del agua. Sin embargo, han sido, en muchos de los casos, esfuerzos valiosos pero focalizados y ocasionales, que no cuentan con un seguimiento, recolección y procesamiento de datos e información para su actualización, profundización y análisis en el tiempo, que contribuya a consolidar un abordaje sistemático y articulado ante los desafíos que presenta la calidad del agua, el tratamiento de las aguas residuales, la obtención de subproductos y sus beneficios derivados en diversos campos.

7.2 Recomendaciones

- Echar a andar una estrategia de preservación del agua y sus bienes naturales asociados, tanto en cantidad como en calidad, en orden al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se vuelve una prioridad e implica ejercer una acción configuradora e integral en la vida nacional, dado que el tema hídrico y la descontaminación es un ámbito central que incide, por un lado, en la salud de la población y la vida de los ecosistemas y, por otro, se encuentra directamente vinculado y determinado por los impactos del desarrollo económico, agroproductivo y urbanístico del país. Dada la estrechez geográfica de El Salvador y la interacción de sus territorios, al formar parte de las mismas regiones hidrográficas interconectadas provoca que las acciones que se llevan a cabo en un sitio repercutan e impacten en otro sitio de importancia y en los medios de vida de la población. Eso significa que la precaución, el cuidado, la participación, la educación, el fomento de una cultura ambiental y el involucramiento ciudadano se tornan principios activos que deben estar presentes en una estrategia de preservación del agua, reconociendo y valorando, por otra parte, los límites hídrico-ambientales del país que deben ejercer una función reguladora de los emprendimientos económicos y sociales.
- La aprobación de la Ley General del Agua es una necesidad imperante en el país que debe fundamentarse en el Derecho Humano al Agua, asumiendo los principios de equidad, acceso asequible y sustentabilidad, los cuales se constituyen en el fundamento para concebir al agua

como un bien supremo de dominio público, y cuyo ente rector debe ser prioritariamente dirigido por el Estado.

Considerando esta perspectiva y el marco legal vigente, se debe ejercer la potestad de emitir Decretos Ejecutivos que fortalezcan y amparen formalmente las acciones y emprendimientos desde las Carteras de Estado, de manera que se establezcan acciones y líneas de trabajo en relación con la calidad del agua que puedan desarrollarse y profundizarse en interrelación con organismos de cooperación, expertos en diferentes áreas y a través de convenios y acuerdos permanentes con universidades y la academia.

- Es importante contar con especializaciones a nivel de maestrías y doctorados en las diversas carreras relacionadas con la calidad del agua, sistemas de tratamiento de aguas residuales, ingeniería sanitaria, bioingeniería, etcétera, y especialidades afines desde las ciencias ambientales para una nueva configuración de los territorios y la concepción de un Modelo de Desarrollo Socio Económico sustentable y compatible con las condiciones del país y su población. Con ello, se establece la importancia de forjar un Centro Nacional de Investigación y Experimentación sobre los aspectos vinculantes a la calidad del agua que permita la continuidad en el análisis y la profundización de estudios e investigaciones, fortaleciendo desde esta perspectiva los convenios y acuerdos que se suscriben con las entidades de Estado y posibilitando, tal como se expresó anteriormente, desarrollar y completar líneas de trabajo que, por una parte, contribuyan a la acumulación y apropiación del conocimiento nacional y local desde el ámbito de las ciencias y, por otra, favorezcan la implementación de procesos tecnológica y económicamente viables, promoviendo la modernización y la eficiencia orientada hacia un desarrollo humano, justo y equitativo.

8. Referencias bibliográficas

Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) (1961). *Ley de Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados.* Decreto de Ley Directorio Cívico Militar No. 341. El Salvador: Presidencia de la República/ANDA.

Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) (1987). *Reglamento sobre la Calidad del Agua, el Control de Vertidos y las Zonas de Protección.* Decreto No. 50 y Reforma 51. El Salvador: Presidencia de la República/ANDA.

Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) (2005). *Norma para Regular Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario.* El Salvador: ANDA.

Asamblea Legislativa de la República de El Salvador (1970). *Ley de Riego y Avenamiento.* Decreto Legislativo 153. El Salvador: Presidencia de la República de El Salvador/MAG.

Asamblea Legislativa de la República de El Salvador (1988). *Código de Salud.* Decreto 955. San Salvador: Presidencia de la República de El Salvador/MINSAL.

Asamblea Legislativa de la República de El Salvador (1998). *Ley de Medio Ambiente.* Decreto Legislativo 233. El Salvador: Presidencia de la República de El Salvador/MARN.

Banco Mundial, US-EPA, Levi Strauss & Co. (2007). *Criterios y Recomendaciones Nacionales sobre Calidad del Agua: Valores Guía sobre Vertidos Industriales.* "Industry Sector Environmental Health and Safety (EHS) Guidelines" and "Global Effluent Guidelines" Appendix V.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (2009). *Norma Salvadoreña Obligatoria, NSO 13.49.01.09: "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor".* Acuerdo 249. El Salvador: CONACYT.

De Jong, Bernardus H.J. (2001). *Cambios de usos de suelo y flujos de carbono en los Altos de Chiapas, México.* Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. Disponible en https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/02_De_Jong.PDF

Dirección General de Estadística y Censos (DIGESTYC) (2017). *Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples (EHPM). Principales Resultados.* El Salvador: Ministerio de Economía.

Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) (2015). *Informe de Acuíferos Porosos en la Zona Costera.* El Salvador: DGOA.

Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) (2016). *Informe de Acuíferos Porosos en la Zona Costera.* El Salvador: DGOA.

Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) (2018). *Reporte de Niveles Piezométricos Acuífero de Nejapa.* El Salvador: DGOA.

Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA/MARN) (2016). *Informe de monitoreo de los acuíferos de Zapotitán, Santa Ana y San Miguel.* El Salvador: DGOA/MARN.

Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento (FOCARD-APS) (2013). *Gestión de las excretas y aguas residuales: Situación actual y perspectivas.* El Salvador: FOCARD-APS. 33 pp.

García, S. (s/f). *Cianobacterias y cianotoxinas. Impactos sobre la salud humana.* Traducción y resumen del libro de Jamie Bartram e Ingrid Chorus, *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management.* WHO,1999. Disponible en http://www.msal.gob.ar/images/stories/ministerio/intoxicaciones/cianobacterias/cianobacterias_y_cianotoxinas.pdf

Global Water Partnership (GWP) (2008). *Microcuenca La Poza El Salvador.* Disponible en https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/case-studies/ americas-and-caribbean/el-salvador.-development-of-community-participation-in-the-microbasin-la-poza-343-spanish.pdf

Jayasumana C., Gunatilake S. (2014). Hard Water and Nephrotoxic Metals: Are they the Culprits Behind the Epidemic the Chronic Kidney Disease of the Unknown Etiology in Sri Lanka? *Environ. Res. Public Health,* 2014,11, 2125-2147.

MEDICC Review (2014). *Chronic Kidney Disease Hits Agricultural Communities.* Vol. 16 No. 2.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2011). *Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua.* El Salvador: MARN.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2013). *Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua.* El Salvador: MARN.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2016a). *Informe del Estado Actual del Lago de Coatepeque, Agosto de 2016.* El Salvador: MARN.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2016). *Control de jacinto de agua en los humedales Olomega, Jocotal, y Nahualapa.* El Salvador: MARN.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2016b). *Días de mayor contaminación reportados por las estaciones automáticas ubicadas al Este y al Centro del AMSS para el periodo 01-01-2009 al 31-08-2016.* El Salvador: MARN.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2017a). *Plan de Recuperación de Ríos Urbanos: presentación de plan acción en junio de 2016.* El Salvador: MARN.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2017b). *Informe de Labores junio 2016-mayo 2017.* El Salvador: MARN. 139 pp.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2018a). *Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua.* El Salvador: MARN.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2018b). *Informe de Labores junio 2017-mayo 2018.* El Salvador: MARN. 138 pp.

Ministerio de Salud (MINSAL) (2009). *Normativa Salvadoreña Obligatoria para agua potable, NSO 13.07.01.08, 2009.* El Salvador: MINSAL.

Ministerio de Salud (MINSAL) (2014). *Informe de Labores 2013-2014.* El Salvador: MINSAL.

Ministerio de Salud (MINSAL) (2015). *Informe de Labores 2014-2015.* El Salvador: MINSAL.

Ministerio de Salud (MINSAL) (2016). *Informe de Labores 2015-2016.* El Salvador: MINSAL.

Ministerio de Salud (MINSAL) (2017). Informe de Labores 2016-2017. El Salvador: MINSAL.

Orantes, C.M. et al. (2009). "Chronic Kidney Diseases and Associated Risks Factors in the Bajo Lempa Región of El Salvador: Nefrolempa Study", *MEDICC Review.* Disponible en: http://www.medicc.org/mediccreview/index.php?is.&id=221&a=va

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2016). *Estado de los Bosques del Mundo. Los bosques y la Agricultura: desafíos y oportunidades. Resumen.* Disponible en http://www.fao.org/3/a-i5850s.pdf

Organización Panamericana de la Salud (OPS)/ Organización Mundial de la Salud (OMS) (2013). "Chronic kidney disease in agricultural communities in Central America" en *Iris PAHO.* Washington DC: OPS/OMS. Disponible en: http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/4718

Pacheco V.; Quiñónez B, J.; Tara Van Ho; Lizama, E. (2016). *El Legado de la mina San Sebastián y sus Impactos en la vida de las poblaciones afectadas.* Entidad promotora: Procuraduría para la Defensa de los Derechos Humanos (PDDH). El Salvador. Disponible en: https://issuu.com/pedrocabezas/docs/informe_especial_pddh__legado_de_la

Quiñónez, J. (2013). *Revisión de los aspectos hidrológicos e hidrogeológicos del estudio de impacto ambiental de Planta Nixapa, Industrias La Constancia, Municipio de Nejapa, San Salvador.* El Salvador. Disponible en https://www.alianzaporlasolidaridad.org/wp-content/uploads/Maq.-Tierrra2.pdf

Quiñónez, J. (2016). *Análisis hidrológico de los impactos de la expansión de la caña de azúcar en zonas frágiles de ecosistemas y de recarga hídrica en San Francisco Menéndez, Ahuachapán.* El Salvador.

Rivera, R., FUNDE, FAO-Facility (2008). "Pago por servicio ambiental en la microcuenca La Poza, municipios de Ozatlán y Usulután, departamento de Usulután, República de El Salvador" en *Mecanismos de compensación relacionando bosques con agua en Centroamérica y El Caribe de habla hispana.* El Salvador: FAO, MAG. The National Forest Programme FACILITY. Disponible en: http://www.fao.org/forestry/19357-0d452bc832742ca4c18f88a8d3d3e14b1.pdf

Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA) (2013). *Monitorización de variables físico-químicas en humedales RAMSAR de El Salvador.* El Salvador: UCA.

Universidad de El Salvador (UES) (2013). *Intensa proliferación de cianobacterias en el Lago de Coatepeque en el evento de septiembre de 2012.* El Salvador: UES.

WHO (2016). Annex A: Summary of the SDG Health and Health-Related Targets. Official WHO Statistics.

Estados Unidos de América

La Física y la Economía establecen las bases que hacen posible evaluar la eficacia de las políticas en relación con la calidad del agua. El análisis de la legislación actual sobre la calidad del agua indica que, si bien estas leyes son eficaces en algunos aspectos, contienen importantes deficiencias en términos de Física y Economía. La gestión de la calidad del agua plantea muchos problemas, pero los más importantes son los que a continuación se exponen: 1) contaminantes tóxicos; 2) contaminantes de fuentes no localizadas; 3) manejo de la salinidad; 4) vigilancia; y 5) gobernanza. **Estados Unidos de América** es un ejemplo de la "Paradoja del Agua en los Países Desarrollados".

Vista aérea de la presa Hoover, ubicada en el curso del río Colorado, Estados Unidos de América © iStock

Calidad del agua y su gestión en los Estados Unidos de América

Henry Vaux, Jr.

Introducción

Se dice que la calidad del agua en los Estados Unidos de América (EUA) es lo bastante buena como para sustentar la mayoría de los usos normales del agua. Ciertamente, los casos de enfermedades transmitidas por el agua son raros. Hay agua de buena calidad para la industria y la agricultura y, en general, el agua es apta para fines de esparcimiento. A pesar de todo, en un país tan vasto y variado geográficamente como los EUA, existe una gran cantidad de problemas relativos a la calidad del agua. Algunos han vuelto a surgir como consecuencia del crecimiento económico y demográfico. Otros son problemas que se habían manejado bien históricamente, pero que dejó de hacerse de forma eficaz porque las causas físicas y biológicas han rebasado las políticas y las disposiciones institucionales concebidas para solucionarlos. Y otros son problemas de mucho tiempo atrás que a lo largo de la historia han demostrado no ser fáciles de solucionar. La evolución tecnológica y el crecimiento económico, aunados al estancamiento o el deterioro de las instituciones y la menor cantidad de recursos disponibles para la gestión de la calidad del agua, quieren decir que los niveles de calidad, así como los patrones futuros en términos de calidad de agua, podrían verse gravemente comprometidos.

La historia de la calidad del agua en los EUA es algo contradictorio. Los exploradores y primeros colonos europeos que arribaron a las húmedas tierras del este y el oeste medio encontraron fuentes casi ilimitadas de prístinas aguas superficiales naturales. A medida que la población y la economía fueron creciendo en los años siguientes, las vías fluviales se convirtieron en receptores de desechos industriales y domésticos. Al principio, esto dio origen a casos localizados de contaminación importante del agua. Con el paso del tiempo, el alcance y la gravedad de los casos creció tanto que fueron pocas las regiones del país que continuaron estando completamente libres de contaminación crónica y de episodios agudos pero temporales de contaminación. La intervención temprana para solucionar el problema de contaminación se llevó a cabo de forma localizada y regionalizada. Las primeras leyes que se decretaron en 1948 adjudicaban la responsabilidad de administrar la calidad del agua a los estados (33 U.S.C. 1251-1376. P.L. 80-854). Esto resultó ser una estrategia poco eficaz.

Henry Vaux, Jr. vaux0@att.net Profesor Emérito de Economía de Recursos de la Universidad de California, Riverside, y Vicepresidente Asociado Emérito del Sistema de la Universidad de California. Especialista en Economía de los Recursos Hídricos, ha escrito y publicado extensamente sobre el tema. Asociado Nacional de la Academia de Ciencias, Ingeniería y Medicina de EUA. Presidente Fundador del Foro Internacional de Rosenberg, que dirigió durante casi 20 años. Actualmente se desempeña como representante de EUA en el Comité de Agua de IANAS. Fue galardonado con la Medalla Warren Hall de excelencia por su trabajo en la investigación del agua, otorgada por el Consejo de Universidades sobre Recursos Hídricos.

Con la gestión de la calidad del agua en manos de los estados, los niveles de los estándares y la rigidez de las normas se convirtieron en herramientas de negociación, en parte para atraer nuevos desarrollos industriales y económicos. Cuando los estados compitieron por el desarrollo económico al ofrecer normas y controles de calidad del agua poco sólidos y menos efectivos que los ofrecidos por los estados competidores, casi siempre resultó en normas y controles menos estrictos en prácticamente todos los estados. La calidad del agua en general continuó deteriorándose con el paso del tiempo. A fines de la década de 1960, el continuo deterioro en la calidad de las aguas del país comenzó a atraer la atención del público. Un incidente que se divulgó extensamente atrajo poderosamente la atención hacia el insalubre estado de las aguas del país a mediados del siglo XX. El Río Cuyahoga, que fluye por Cleveland, Ohio, y desemboca en el Lago Erie, se había convertido en poco menos que una alcantarilla abierta llena en gran parte de desechos industriales. El río se incendiaba con regularidad y los continuos esfuerzos por extinguir las llamas fueron objeto de mucha publicidad a nivel nacional. Este incidente, junto con las denuncias sobre los niveles de contaminación igualmente devastadores en otras vías navegables y el hecho de que la natación y otros deportes acuáticos fueran a menudo prohibidos para proteger la salud pública, prepararon el escenario para la promulgación de la Ley de Agua Limpia de 1972 y la Ley de Agua Potable Segura de 1974, y hasta la fecha continúan siendo los pilares de la gestión de la calidad del agua en los EUA. Estas Leyes se describirán y examinarán con más detalle posteriormente en este capítulo, ya que en ellas se establecen los fundamentos legislativos y jurídicos para la gestión de la calidad del agua. Gran parte de la evaluación actual de la calidad del agua en los EUA inició con estas dos leyes.

El resto del capítulo se divide en cuatro secciones. La primera de ellas analiza algunos de los principios de gestión de la calidad del agua a partir de la Ley de Conservación de la Materia y la Energía; en un mundo ideal, las estrategias de gestión de calidad del agua serían consistentes con estos principios. En la segunda sección se analiza el marco jurídico que rige la calidad del agua en los EUA; el análisis incluye una descripción pormenorizada de las leyes nacionales vigentes que rigen la calidad del agua, entre ellas, las ya mencionadas en la introducción. En la tercera sección se identifican y analizan los problemas de calidad del agua que deben abordarse actualmente. Una cuarta y última sección incluye algunos comentarios finales y recomendaciones para la toma de acciones.

Gestión de la calidad del agua: algunas teorías básicas

El principio del balance de materia, que surge a partir de la Ley de Conservación de la Materia y la Energía, incorpora una serie de útiles enseñanzas que han de tomarse en cuenta si la gestión de la calidad del agua ha de ser eficaz, desde un punto de vista económico. La estrategia de la **Ilustración 1** presenta el principio tal y como se establece en la Ley de Conservación de la Materia y la Energía. Esta Ley sostiene que la materia y la energía siempre se conservan. De igual forma sucede con los recursos y el material que fluyen a través de los sistemas de producción y consumo. A la derecha del diagrama, se observan los recursos brutos y los materiales que se utilizan en la producción. El proceso de producción transforma esos recursos y materiales en a) bienes y servicios útiles, y b) residuos del proceso de producción (WRp). Estos residuos normalmente carecen de valor, no se ajustan a ninguna regulación y acaban descargándose en uno o más de los sumideros de desechos ambientales: tierra, aire o agua. Los consumidores adquieren los bienes y servicios y éstos son sometidos a otra transformación en los procesos de consumo: la transformación consuntiva, en la cual la basura que resulta del consumo y los residuos de los procesos de consumo (WRc) también se descargan al medio ambiente. Para mayor claridad, en el diagrama y en los símbolos se asume que no existen disposiciones para esto. No obstante, el análisis dio lugar a un aprendizaje sobre disposiciones, su rigidez y la forma en que pueden utilizarse.

Un resultado importante, llamado Principio de Balance de Materia, sostiene que el peso de los recursos que ingresan al proceso de producción (Wres) es aproximadamente igual al peso de los residuos de la transformación productiva (WRp), más

el peso de los residuos de la transformación consuntiva (WRc) (Ayers, Kneese y d'Arge, 2015). Es decir:

1) Wres = WRp + WRc
   Si
   Wres = el peso de los recursos y el material que ingresan en los procesos de producción
   WRp = el peso de los residuos de la producción
   WRc = el peso de los residuos del consumo

De este principio se desprenden varios corolarios importantes:

- **Corolario 1:** Únicamente hay dos formas de reducir el peso (cantidad) descargado al ambiente: a) reducir el peso de los recursos y materiales que se someten a la transformación productiva y consuntiva, llamada producción; o b) recoger los residuos de las transformaciones productivas y de consumo y reciclarlos a través del sistema como recursos. De esto se trata el reciclaje.
- **Corolario 2:** Cuanto más estricta sea la norma de un sumidero, menor será la calidad ambiental de los otros sumideros. En otras palabras, los sumideros de tierra, aire y agua están interrelacionados, no son independientes, y sencillamente no es posible controlar la calidad de los tres sumideros de manera muy estricta tan sólo mediante el establecimiento de estándares. También es importante tomar conciencia de que los diferentes sumideros tienen diferentes capacidades para diluir o transformar diferentes tipos de desechos. Estas capacidades varían de un lugar a otro.

Existe un segundo principio importante de la economía que debe considerarse en la elaboración de políticas y estándares de control de calidad del agua. Este principio sostiene que, en la mayoría de los casos, es ineficiente eliminar totalmente la contaminación. Lo anterior se demuestra en la **Ilustración 2**, en donde el punto óptimo de reducción de la contaminación es aquel donde se encuentran los costos marginales del control y los beneficios marginales del control (es decir, los costos son iguales). Dicho de otra manera, en la mayoría de los casos, cierta cantidad de contaminación será el nivel óptimo en términos económicos. El razonamiento

Ilustración 1. Diagrama del Principio de Balance de Materia

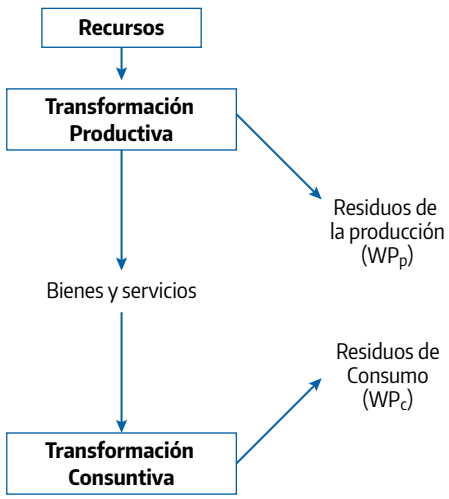
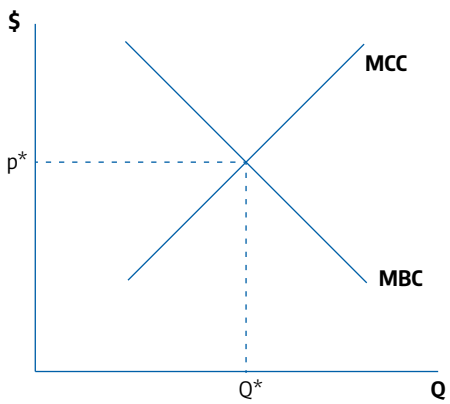


Ilustración 2. Costos y beneficios incrementales del control de la contaminación



Según lo cual:

MCC = Costos marginales del control de la contaminación en dólares
MBC = Beneficios marginales del control de la contaminación en dólares
Q* = Cantidad óptima de control de contaminación
P* = Precio incremental de control óptimo

es que, en algún momento, los costos adicionales de controlar o tratar las cantidades adicionales de contaminantes excederán los beneficios adicionales que se lograrían si se controlara la unidad de contaminación en cuestión. En la mayoría de los casos, la contaminación óptima o el control óptimo de la

contaminación, se encontrará en el punto donde los costos de una unidad adicional de tratamiento equivalen a los beneficios (o daños evitados) como resultado del tratamiento. Entre las diversas excepciones a este principio se encuentran los casos en que el contaminante en cuestión se propaga tan rápidamente que causará enormes daños en términos de salud humana y pérdida de vidas. Otro ejemplo se presenta en los casos en que los costos de limpieza o mitigación de un contaminante son, en sí mismos, enormes, tal vez, infinitamente grandes (Baumol y Oates, 1993).

Estos principios constituyen una guía útil en el diseño de estrategias eficaces y eficientes de control de la contaminación. También aportan útiles puntos de referencia para evaluar el control actual de la contaminación. Es evidente que la gestión de la calidad del agua debe formar parte de estrategias integradas de control de la contaminación que reconozcan explícitamente la interrelación de los tres sumideros: la tierra, el aire y el agua. En la siguiente sección, se identificarán y analizarán las principales leyes y políticas nacionales que rigen la gestión de la calidad del agua. De este análisis se desprenderá la noción de que una de las deficiencias de la política de control de la contaminación en los EUA es que ésta es específica para un sumidero y apenas si reconoce la interrelación de todos ellos. Al mismo tiempo, también es obvio que estas políticas no fueron diseñadas para adecuarse a los principios de eficiencia económica. No obstante, los datos utilizados para evaluar las estrategias respecto a la calidad del agua pueden no siempre estar disponibles o ser costosos de obtener.

Leyes y políticas sobre la calidad del agua

Existen dos leyes federales importantes y políticas asociadas que rigen la calidad del agua y su gestión en los EUA: 1) la Ley de Agua Limpia de 1972, y 2) la Ley de Agua Potable Segura de 1974. Existe una tercera ley, la Ley de Control de Sustancias Tóxicas de 1976, que tiene por finalidad controlar sustancias tóxicas, la cual es relevante pero no se centra exclusivamente en la contaminación del agua. Más bien, las sustancias tóxicas en el agua o propensas a encontrarse en ella se tratan conforme a la Ley de Agua Potable Segura, en su texto modificado. Los pormenores de estas leyes se describirán y analizarán enseguida. De cualquier modo, al principio debe tenerse en cuenta que, si bien estas leyes y políticas son las más importantes y conocidas, existen muchas otras leyes federales y algunos aspectos de ellas están dirigidos a mejorar y mantener la calidad del agua. Aparte de eso, los estados y territorios también cuentan con sus propias leyes y políticas acordes con las principales leyes federales, pero las han modificado y fortalecido de muchas maneras. Conforme a la Constitución de los EUA, las leyes y políticas de los estados y territorios no se pueden concebir y/o hacer cumplir para debilitar o modificar el propósito de la legislación federal. Las leyes y políticas estatales, así como las leyes y políticas federales secundarias, son demasiadas para analizarlas en este trabajo. Sin embargo, son importantes en la medida en que en algunos casos refuerzan uno o más aspectos de la legislación federal y, en otros casos, sirven para adaptar las características de la ley federal a algunas circunstancias muy particulares que se encuentran a menudo en un país tan vasto y variable como los EUA.

Ley de Agua Limpia de 1972 (Ley Pública 92-500; 86 Stat 816). Esta Ley, llamada técnicamente Ley Federal de Control de la Contaminación del Agua, establece las bases fundamentales para el control moderno de la contaminación del agua en los EUA, se centra en la calidad de las aguas superficiales del país y no aborda los problemas de contaminación de las aguas subterráneas. La Ley también se enfoca en fuentes localizadas que generalmente se definen como descargas a vías navegables que emanan de un punto identificable como un desagüe de alcantarillado, una tubería de descarga o una descarga confinada de una industria, incluyendo descargas de aguas calientes que exceden la temperatura ambiente del cuerpo de agua receptor (véase Recuadro 1). La Ley también se ocupa de las descargas de fuentes no localizadas que complican los problemas de regulación, debido a que no están en operación. Por otro lado, las acciones y políticas para abordar el problema de las descargas de fuentes no localizadas no hacen hincapié en este problema de la misma forma en que lo hacen las políticas dirigidas a las descargas de fuentes localizadas.

La Ley de Agua Limpia fue aprobada por el Congreso y promulgada en 1972. Ha sido modificada va-

rias veces desde entonces, sobre todo en 1977, 1981, 1987 y 2014 (para un panorama completo, véase: Bearden *et. al.*, 2010). La ley es compleja y, aunque ya tiene más de 40 años, algunas partes continúan siendo objeto de controversia. Como se señaló anteriormente, una versión anterior de esta Ley, aprobada en 1948, asignó a los estados la responsabilidad de establecer y hacer cumplir los estándares de calidad del agua. Esto no funcionó y la Ley de 1972 confirió autoridad al Gobierno federal para promulgar estándares de calidad del agua. La principal finalidad de la Ley era hacer que todas las aguas superficiales del país se pudieran explotar y se pudiera nadar en ellas en 1983. La Ley se basaba en el principio de que las descargas a cualquier vía fluvial de los EUA serían ilegales. No obstante, la Ley disponía que quienes realizaran descargas podrían obtener permisos de descarga si cumplían con ciertas condiciones especificadas por la ley y por la entidad reguladora, que era la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EUA. Estos permisos se incorporaron bajo la sección general del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (NPDES, por sus siglas en inglés). En la actualidad, todas las descargas de fuentes localizadas en los EUA cuentan con permisos que es, a su vez, parte de un sistema de control eficaz. Quienes realizan descargas sin permiso están sujetos a multas de consideración. La Ley de Agua Limpia se compone de dos elementos principales: el primero incluye un conjunto de requisitos normativos para descargas industriales y municipales; el segundo autoriza la asistencia financiera federal a los municipios y otras entidades públicas para colaborar en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales que cumplan con las normas establecidas para las descargas.

El proceso de regulación comienza con el establecimiento de estándares de calidad de las aguas superficiales. Los estados son responsables de difundir las normas, aunque todas están sujetas a la aprobación federal. El Gobierno federal podrá establecer las normas en caso de que los estados no lo hagan o si aquéllas no contaran con la aprobación federal. La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) será responsable de realizar la revisión federal. Las propias normas establecen las concentraciones máximas de desechos biodegradables, calor y pH que se permiten en las vías fluviales del estado en cuestión. Estas normas ambientales deben lograrse mediante un conjunto de estándares tecnológicos (**Recuadro 1**).

En el caso de la industria, el requisito inicial era utilizar la Tecnología más Viable (BPT) para tratar los flujos de residuos. La Ley se inclinaba por la Mejor Tecnología Disponible (MTD) en 1989 para mejorar el nivel de tratamiento. La Ley requirió además que los estándares ambientales especificaran la concentración máxima permisible de contaminantes que se requería para que los flujos pudieran utilizarse en cualquier uso establecido en el estándar. Estas concentraciones máximas permitidas funcionan como evidencia para garantizar que realmente se cumplan los estándares ambientales. Estipulan que los estados establezcan la Carga Total Máxima Diaria (TMDL) de contaminantes con objeto de garantizar que se cumpla el estándar ambiental. Si la Tecnología más Viable (BPT) no alcanzara la Carga Total Máxima Diaria, entonces sería necesario efectuar un tratamiento adicional. La especificación de la Carga Total Máxima Diaria, por tanto, es parte de la estrategia de control de la contaminación y también forma parte del proceso de cumplimiento.

La tecnología que se requiere para los sistemas de tratamiento de aguas residuales regionales y municipales debe ser capaz de efectuar por lo menos el tratamiento secundario completo de los flujos de residuos. También cuando el uso del tratamiento secundario no logra alcanzar la Carga Total Máxima Diaria del cuerpo de agua en cuestión, será necesario un tratamiento adicional. Cuando se aprobó la Ley en 1972, las necesidades de financiamiento para construir plantas de tratamiento capaces de realizar un tratamiento secundario completo eran superiores a lo que la mayoría de las regiones y municipalidades podían aportar desde el punto de vista económico. Por tal motivo, el Congreso incluyó disposiciones en la legislación que autorizaban al Gobierno federal a participar con un monto de 75% del gasto de capital en el financiamiento de la construcción de plantas de tratamiento. Los estados y las localidades quedaron a cargo de aportar el resto del costo, así como los gastos de operación y mantenimiento. El valor tope de la contribución federal a los costos de capital se redujo a 55% a partir de las Enmiendas a las Subvenciones para la Construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales de 1981 (PL 97-117). Uno de los

primeros problemas con el programa de subvenciones fue la falta de programas de capacitación para los operadores de las plantas de tratamiento y la consecuente falta de equipos de operadores capacitados. Esto representó un problema en los primeros años del programa, aunque se superó con el paso del tiempo.

Como ya se señaló con anterioridad, la Ley de Agua Limpia de 1972 se ha modificado y precisado cuatro veces desde su inicio. Las dos primeras modificaciones a la Ley de Agua Limpia de 1977 (P.L. 95-217) y las Enmiendas a la Subvención para la Construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales de 1981 (P.L. 97-117) tenían por objeto ampliar y adaptar partes de la legislación original a circunstancias locales y regionales específicas y a situaciones que no se habían previsto en la legislación original. Las disposiciones de ambas son numerosas, detalladas y complejas, y el análisis de todas ellas escapa al horizonte de este trabajo. Las grandes excepciones fueron la creación de un programa centrado en los residuos tóxicos en la Ley de 1977 y la reducción del valor tope en la contribución federal de 75 a 55% obligatorio conforme a la Ley de 1981.

Una tercera enmienda, la **Ley de Calidad del Agua de 1987** (P.L. 100-4), se distinguió por varios aspectos. Puede que ante todo, estableciera autorizaciones específicas básicas para abordar la contaminación de fuentes no localizadas, a diferencia de la Ley de 1972 y las Enmiendas de 1977, que se habían centrado casi exclusivamente en fuentes localizadas. La Ley de 1987 autorizó a los estados a establecer e implementar programas dirigidos a la gestión de la contaminación de fuentes no localizadas, recomendándoles desarrollar programas para proteger las aguas subterráneas. Los programas de protección eran importantes partiendo de la premisa de que es más barato prevenir la contaminación del agua subterránea, que resolver el problema una vez que ya haya ocurrido. La Ley también otorgaba subvenciones que cubrían hasta 60% de los costos de desarrollo e implementación de los programas de control de fuentes no localizadas. Aunque el país continúa pasando apuros con la gestión de fuentes no localizadas, la aprobación de la implementación de las Mejores Prácticas de Gestión (BMP) ha constituido un punto de partida prometedor. Como se señala más adelante, la gestión de las fuentes no localizadas continúa representando un enorme problema para el país.

La Ley de 1987 permitió que se efectuaran otros ajustes importantes al Programa Nacional de Agua Potable. En primer lugar, se enfocó en problemas específicos de contaminación del agua y aprobó nuevos programas, además de fortalecer los ya existentes para dar solución a esos problemas. Entre los programas aprobados y reforzados se encuentran las estrategias de control de contaminación dirigidas a descargas de sustancias tóxicas específicas que ya se habían identificado como problemáticas. En segundo lugar, cambió la naturaleza fundamental de la relación federal/estatal que había prevalecido desde la autorización de la Ley de 1972. Esto se logró mediante la eliminación gradual del Programa de Subvenciones para la Construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, sustituyéndolo por un programa de Fondos Revolventes Estatales para el Control de la Contaminación del Agua. En virtud de esta disposición, el Gobierno federal otorgó una ayuda inicial con objeto de capitalizar el fondo revolvente y los estados agregaron 20% a esa cantidad. Después, a los proyectos que reunieron los requisitos necesarios se les otorgaron préstamos a bajos tipos de interés del fondo revolvente y se reembolsaron al fondo, haciendo posible que hubiese fondos disponibles para financiar otros proyectos. El otro aspecto importante de la estrategia de fondos revolventes fue que se seleccionó un número diverso de proyectos de calidad de agua para otorgarles préstamos a manera de financiamiento, y que éstos no se utilizaron únicamente en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, como había sucedido antes. Entre los proyectos seleccionados que se distinguieron en la Ley se encuentran los siguientes: a) la construcción de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales; b) proyectos de control de fuentes de contaminación no localizadas; c) construcción de sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales; d) creación de proyectos de infraestructura ecológica; y e) proyectos para mejorar y proteger las aguas costeras. Asimismo, la Ley transfirió parte de la responsabilidad (supeditados a la supervisión federal) del manejo del programa de permisos nacionales (Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes) a los estados (Liebesman y Laws, 1987).

Recuadro 1. Conceptos importantes en el tratamiento y gestión de aguas residuales

Niveles de tratamiento

Tratamiento primario. Éste es el nivel básico de tratamiento. Implica la eliminación de sólidos y materiales en suspensión en las aguas residuales.

Tratamiento secundario. Implica la eliminación de compuestos suspendidos y coloides generalmente a través de procesos biológicos naturales, que conllevan la oxidación bioquímica para convertir los compuestos suspendidos y los coloides en sustancias químicas constituyentes. Estos tratamientos generalmente se llevan a cabo en ambientes aeróbicos mediante la utilización de microorganismos que se encuentran en arroyos colindantes y cercanos. Junto con el tratamiento primario, elimina una gran parte de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) que se encuentra en las aguas residuales de alimentación.

Tratamiento terciario. Elimina compuestos específicos adicionales a los que se eliminan normalmente en el tratamiento secundario. El nitrógeno y el fósforo son los ejemplos principales, pero existen muchos otros y el nivel de tratamiento terciario que se requiere depende de la composición específica de las aguas residuales en cuestión. Los métodos del tratamiento terciario pueden ser biológicos, químicos y/o físicos. El tratamiento terciario en ocasiones se denomina "Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales".

Tipos de estándares

Normalmente se emplean diferentes tipos de estándares para detallar las metas y los objetivos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales específicos, así como los objetivos regionales y nacionales de calidad del agua. Existen varios tipos de estándares, que se analizan a continuación:

Normas ambientales. Los estándares ambientales especifican las características físicas, químicas y biológicas que se desean en los medios receptores –en este caso el agua–, que en conjunto conforman los objetivos de las políticas y las estrategias de gestión de la calidad del agua. La especificación de una norma ambiental simplemente es el informe de un objetivo o un conjunto de objetivos. El estándar en sí mismo no cumple ningún papel. Esto debe lograrse por otros medios, como la especificación y el cumplimiento de las normas de vertido, multas por contaminación u otras sanciones económicas, tanto individuales como en conjunto.

Estándares de descarga. Éstos establecen los estándares biológicos, químicos, físicos (y en algunos casos, cuantitativos) que deben tener las aguas que se descargan a una vía fluvial superficial u otro cuerpo receptor. El requisito y cumplimiento de los estándares de descarga es una forma de alcanzar los estándares ambientales. Debe tenerse en cuenta que los estándares de descarga funcionan con contaminantes de fuentes localizadas en las que hay un punto donde puede monitorearse la descarga en cuestión. No son eficaces para controlar la contaminación de fuentes no puntuales debido a la dificultad de determinar dónde debe aplicarse y hacerse cumplir el estándar.

Estándares basados en la tecnología. Especifican los tipos de tecnología y las consideraciones de orden operativo relacionadas, que se requieren para poder cumplir con el estándar ambiental. Casi siempre se establecen tomando en cuenta el costo y la efectividad. Logran la gestión de la contaminación, ya que establecen las acciones que deben llevarse a cabo con los flujos de residuos y no a partir del impacto de éstos en el medio ambiente.

Estándares de entrada.- Especifican la cantidad y calidad de ciertos insumos que pueden utilizarse en procesos de producción específicos para afectar la calidad y la cantidad de los residuos que se generan posteriormente, tanto productivos como de consumo. Dicho de otra forma, especifican la calidad y la cantidad que debe ingresar al proceso de producción para impactar la calidad y cantidad de los residuos. Se han propuesto como un método eficaz para combatir los contaminantes de fuentes no localizadas, pero pocas veces se han utilizado en los EUA y no se cuenta con un informe de efectividad comprobada. En general, su puesta en práctica resulta bastante costosa.

Tecnologías

La mejor tecnología disponible (BAT). Es la tecnología de tratamiento de desechos más eficaz, incluidos los procesos, independientemente del costo o la viabilidad económica.

La tecnología más viable (BPT). Es la tecnología de tratamiento de residuos más eficaz, incluidos los procesos, dependiendo de las limitaciones de costos y viabilidad económica. Las restricciones las establece el regulador.

El tercer aspecto importante de la Ley de 1987 fue el fortalecimiento de los mecanismos generales de aplicación tanto de los programas federales como estatales mediante el aumento de las sanciones e incluso la pena de cárcel, en su caso. El cuarto y último, estableció que las zonas locales que estuvieran haciendo frente a circunstancias especiales podían solicitar un reajuste o exención de algunas de las disposiciones más estrictas incluidas en los diversos artículos de la legislación de control de contaminación del agua (Liebesman y Laws, 1987). En general, la legislación de 1987 demostró cómo la Ley original de 1972 podía modificarse y fortalecerse a partir de nuevas circunstancias y experimentar con programas que se habían desempeñado en niveles inferiores a los previstos.

La Ley de Agua Limpia de 1972, modificada en 1977, 1981 y 1987 y en muchos otros textos legislativos en los que se incorporaron cambios menores, tuvo ciertas fallas desde el principio. La Ley se centraba en un solo sumidero, el agua, y no incorporaba el Principio de Balance de Materia que hace hincapié en la interrelación de todos los sumideros. Esta importante omisión ya había ocurrido antes con la Ley de Aire Limpio de 1970 (42 U.S.C. 7401 *et seq.* P.L. 84-159) y con la Ley de Eliminación de Residuos Sólidos de 1954 (P.L. 89-272), así como con su sucesora, la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos de 1976 (P.L. 94-580), las cuales se enfocaban en sumideros únicos de recepción de residuos. Poco se reconocía la interrelación de todos estos sumideros. Así pues, incluso hoy día, el enfoque en un único sumidero que predomina en las estrategias de control de la contaminación de los EUA significa que hay instancias y regiones en las que uno o más de los sumideros se está sobreutilizando y los otros dos se utilizan muy poco. El hecho de no buscar estrategias integradas de gestión de residuos continúa siendo una de las principales fallas de la gestión ambiental en los EUA actualmente. Esto quiere decir que muy pocas veces se gestionará la calidad del agua de manera óptima, porque los costos de las estrategias de control de la contaminación casi nunca se consideran y comparan contra los beneficios del control.

Esto es una falla adicional en los fundamentos de la Ley y tiene que ver con la idea de que las prácticas eficientes de eliminación de residuos deben equilibrar los costos y beneficios de la gestión de residuos, de modo tal que en el punto de equilibrio los costos de la última unidad adicional de tratamiento o regulación (control) deberían ser iguales a los beneficios obtenidos de la última unidad de control. Ello significa que hay un nivel óptimo de contaminación y sólo en casos excepcionales vale la pena limpiarla toda en términos económicos (Dolbear, 1967). Es difícil evaluar los problemas de medir y convertir en dinero los costos y beneficios, y los costos que implica obtener esa información deben contabilizarse como costos de control. Por otro lado, la Ley de 1972 especificaba un objetivo final de descargas cero a nivel nacional y establecía un plazo para el logro de ese objetivo. De esta manera, la Ley no contempló que algunos de los costos de la limpieza no generarían suficientes beneficios para que dichos costos valieran la pena. El hecho es que el objetivo de la descarga cero nunca se ha logrado y probablemente nunca se logre. En el mejor de los casos, la esperanza de tales objetivos crea falsas expectativas.

A pesar de estas fallas fundamentales, es difícil negar que la Ley ha prestado un buen servicio al país. Las aguas del país ahora están mucho más limpias que en 1972. Esto se logró a pesar del considerable crecimiento demográfico y económico de los últimos 40 años, los aumentos de producción de materiales en la economía y los cambios en la cantidad y calidad de los residuos. A pesar de todo, la Ley continúa causando controversia a más de 40 años de su promulgación. Por un lado, hay grupos que sostienen que la Ley no cubre todos los aspectos, que rara vez se actualiza y que hay importantes tipos de contaminantes que están regulados y otros que no lo están en absoluto (por ejemplo, Adler, Landeman y Cameron, 1993). Por otra parte, existen grupos que consideran que la Ley representa una intrusión injustificada del Gobierno en las industrias, las empresas y las instituciones públicas. El descontento equilibrado probablemente confirma la sabiduría política de quienes la formularon en primer lugar.

Ley de Agua Potable Segura de 1974 (P.L. 93-523). Poco después de mediados del siglo XX, los EUA comenzaron a experimentar brotes considerables de enfermedades transmitidas por el agua en varias comunidades urbanas. Estos brotes desmintieron la creencia generalizada de que prácticamente todos los suministros de agua potable del país eran seguros. El Gobierno reaccionó con el Es-

tudio Nacional de Suministro Comunitario de Agua, concebido para analizar la seguridad de los suministros de agua potable en todo el país (Bureau of Water Hygiene, 1970). El estudio reveló que había enormes deficiencias en la calidad del agua potable a nivel nacional y también documentó inquietudes sobre la capacidad de los sistemas de tratamiento de agua potable para suministrar agua purificada apta para el consumo (Bureau of Water Hygiene, 1970). Las necesidades y los antecedentes de la Ley de Agua Potable Segura de 1974, en su texto modificado, se encuentran disponibles en el Estudio Nacional de Suministro Comunitario de Agua. La Ley de Agua Potable Segura (P.L. 93-523) se incorporó a la Ley del Servicio de Salud Pública bajo el Título XIV. Es importante señalar desde el principio que existe una clara distinción entre la Ley de Agua Limpia, en su texto enmendado, que se centra en la contaminación y la calidad de las aguas superficiales del país, y la Ley de Agua Potable Segura, en su texto enmendado, que se enfoca en la calidad de los suministros de agua potable del país.

La Ley de Agua Potable Segura de 1974 dispuso tres autorizaciones que son de gran importancia para mantener el agua potable saludable. En primer lugar, faculta a la Agencia de Protección del Medio Ambiente para identificar y establecer estándares para los contaminantes en el agua potable, incluidos los que pueden aparecer en el agua potable. Segundo, solicitó que la Agencia de Protección del Medio Ambiente estableciera y aplicara regulaciones que garantizaran la ausencia de contaminantes en el agua potable. En tercer lugar, autoriza a los estados a asumir la responsabilidad de supervisar y hacer cumplir los estándares y controles una vez que hayan sido aprobados. Se espera que la Agencia de Protección del Medio Ambiente mantenga una lista de sustancias contaminantes y la actualice cada cinco años. La Agencia también debe evaluar al menos cinco contaminantes de esta lista cada cinco años y decidir si debe o no proceder a su regulación (Tiemann, 2017). El contaminante se selecciona como candidato para regulación si cumple con tres criterios decisivos:

- El contaminante podría tener efectos adversos para la salud.
- El contaminante ocurre o tiene una probabilidad de ocurrencia en niveles y frecuencias que constituyen un problema de salud pública.
- La regulación ofrece una oportunidad para reducir el riesgo de contraer enfermedades.

Una vez que se selecciona un contaminante para ser regulado, la Agencia debe establecer un Objetivo Máximo de Nivel de Contaminante (MCLG, por sus siglas en inglés) que será el nivel donde no se prevén efectos adversos, pero sí un cierto margen de escasez. La norma se establece como un Nivel Máximo de Contaminante (MCL), que sería el nivel que más se acerca al objetivo. Luego, la Agencia debe proponer una regulación y, después de un plazo razonable para hacer comentarios, deberá emitir una regulación nacional para el agua potable que se haga cumplir. Los estándares generalmente se establecen utilizando la mejor información científica de la que se dispone y se deben aplicar en tecnologías de tratamiento de aguas que sean viables (Tiemann, 2017). En los casos en los que los sistemas pequeños (que abastecen a menos de 10,000 consumidores) experimenten problemas financieros, se contará con disposiciones que permitan ofrecer ayuda, aunque no en el caso de contaminantes microbianos.

Además de los estándares y las regulaciones, la Ley de Agua Potable Segura también aborda varios problemas específicos. Uno de éstos es el plomo, que se utilizó ampliamente en tuberías antiguas y que puede aparecer en el agua que se transporta a través de esas tuberías. La Ley autoriza la regulación del uso del plomo en las plomerías al exigir que las tuberías no contengan plomo. La propia Ley define "sin plomo" en no más de 0.2%. Las enmiendas posteriores a la Ley han hecho esta definición aún más estricta. La preocupación por el plomo se ha agudizado particularmente porque las cargas corporales son acumulativas. Se ha autorizado una variedad de otros programas para proporcionar asistencia financiera a comunidades pequeñas y distritos escolares cuyos problemas existentes de plomo exceden su capacidad financiera para darles solución.

Los suministros de agua potable derivados de las aguas subterráneas ocupan un lugar destacado en la Ley de Agua Potable Segura. Los datos sobre el uso del agua subterránea para suministrar agua potable son confusos. Los datos revelan que la gran mayoría de los sistemas públicos de suministro de agua (91%) emplean aguas subterráneas. Sin embargo, 68% de los consumidores de agua potable en los EUA reciben servicios de sistemas que utilizan

aguas superficiales. Esta aparente contradicción se explica por el hecho de que el suministro de la mayor parte de las áreas metropolitanas donde reside la mayoría de las personas proviene de aguas superficiales, mientras que los sistemas pequeños que predominan en las áreas rurales son abastecidos por aguas subterráneas (Agencia de Protección del Medio Ambiente, 2010). Las aguas subterráneas que suministran agua potable están, por tanto, sujetas a estrictas regulaciones conforme a los términos de la Ley, que incluyen estándares y regulaciones idénticos con respecto a los contaminantes. La Ley establece protecciones específicas y elaboradas de las inyecciones subterráneas que podrían poner en peligro la calidad de las aguas subterráneas que se utilizan como suministros de agua potable. Además, los acuíferos que son la única fuente de agua potable reciben protección especial y tienen derecho a recibir financiamiento federal para subsidiar la calidad del agua subterránea en aguas que son fuentes exclusivas y para patrocinar programas estatales de protección de la calidad de las aguas subterráneas (Tiemann, 2017).

En términos de la autoridad competente, la Ley autoriza a los estados a asumir la responsabilidad principal de la gestión y hacer cumplir los estándares y las regulaciones. Este contexto es bastante relevante. El Congreso de los EUA siempre ha sido extremadamente reacio a involucrar al Gobierno federal en cualquier actividad que tenga que ver con la gestión de las aguas subterráneas. La única excepción son las aguas subterráneas que son competencia de la jurisdicción de dos o más estados. Estas aguas subterráneas se denominan aguas subterráneas interestatales. Las circunstancias que culminaron en la aprobación de la Ley de Agua Potable Segura han ejemplificado claramente que la regulación del agua potable podría recaer en los estados sin restricción alguna. De esta manera, la disposición de la Ley que permite a los estados administrar los estándares y regulaciones es coherente con la renuencia federal a involucrarse en la gestión de las aguas subterráneas y en la de algunas aguas superficiales locales.

La Ley establece ciertas condiciones que deben cumplirse para que un estado pueda considerarse apto para hacerse cargo de la gestión de la calidad del agua potable. En primer lugar, el estado debe establecer estándares de calidad del agua que sean, por lo menos, iguales a los establecidos por el Gobierno federal. El estado deberá diseñar procedimientos eficaces para su implementación, entre éstos, un sistema de sanciones que sea causa suficiente para disuadir a los ciudadanos a violar los estándares y regulaciones. También deberá mantener inventarios, realizar monitoreos y llevar a cabo inspecciones de rutina. Por último, los estados deben contar con estrategias de suministro de agua potable segura en casos de emergencia. Prácticamente todos los estados y territorios de los EUA han reunido las condiciones necesarias para obtener la primacía y, de hecho, ya la ejercen. Las excepciones son el estado de Wyoming, el Distrito de Columbia y varias tribus nativo-americanas que son autónomas, a raíz de algunos Tratados o de la legislación (Tiemann, 2017).

Existen numerosas enmiendas a la Ley de Agua Potable Segura. Las enmiendas de 1986 (P.L. 99-339) fueron de largo alcance y se centraron en la presteza con la que la EPA regulaba los contaminantes, el establecimiento de medidas estrictas para la desinfección y la infiltración de los suministros públicos de agua, la creación de programas de protección de las "bocas de pozo" (sustentados por proyectos de demostración) y el fortalecimiento de los organismos de control de la EPA. Las enmiendas adicionales efectuadas en 1988 (P.L. 100-572) y en 1996 (P.L. 104-182) intentaron incorporar cierto grado de flexibilidad reguladora, destinar recursos para los riesgos más altos para la salud y hacer mayor hincapié en la prevención de la contaminación. Las enmiendas de 2002 (P.L. 107-188) se centraron en mantener los esfuerzos para garantizar el suministro público de agua, así como para los programas de respuesta al bioterrorismo dirigido a los suministros públicos de agua (Bearden *et al*., 2010).

La Ley de Agua Potable Segura de 1974 ha sido de gran utilidad para proteger la calidad del agua potable. Desde su aprobación e implementación, se han suscitado muy pocos brotes de enfermedades transmitidas por el agua y se ha contado con abundantes suministros de agua saludable en la mayor parte del país. Se regulan 91 contaminantes, incluidos los contaminantes químicos, biológicos y radiológicos. Sin embargo, hay indicios de que la calidad del agua potable podría no estar tan bien protegida en el futuro como lo ha estado en el pasado. Este es particularmente el caso debido a la propagación

y distribución generalizada de sustancias químicas tóxicas que pueden aparecer en los suministros de agua potable. Además, gran parte de la infraestructura que se utiliza para la recolección, el transporte y el tratamiento de los suministros de agua potable requiere de trabajos de renovación y mantenimiento. A menos que esto se atienda de manera agresiva, es probable que las amenazas a la calidad del agua potable se multipliquen con gran rapidez (Venkataraman, 2013). La siguiente sección identifica y analiza los desafíos futuros en que los EUA deben centrarse al diseñar las políticas futuras de gestión de calidad del agua.

Gestión de la calidad del agua en los EUA: retos futuros

A pesar de las fallas, tanto básicas como situacionales, las leyes que establecen las estrategias y políticas fundamentales para la gestión de la calidad del agua en los EUA han funcionado relativamente bien. Lo anterior es cierto tanto para la parte cualitativa de las aguas superficiales y algunas aguas subterráneas como para la calidad del suministro de agua potable a nivel nacional. De cualquier modo, se vislumbra una serie de problemas potencialmente graves relacionados con la calidad del agua. Problemas que requerirán tanto recursos como voluntad política si han de atacarse de manera efectiva. Aunque son muchos, cinco de ellos parecen presentar desafíos particularmente difíciles; tres de ellos son problemas de contaminación de los que se tiene conocimiento desde hace muchas décadas, pero han demostrado ser particularmente difíciles y resistentes a soluciones probadas. Éstos son los siguientes: contaminantes tóxicos, contaminantes no puntuales y salinización del agua y la tierra. Los otros dos se refieren a la capacidad del país de responder a los problemas de gestión de la calidad del agua mediante el diseño de regímenes adecuados de gobernanza y respuestas oportunas a los desafíos inherentes a la gestión pública de la contaminación. Esta sección analiza cada uno de dichos problemas.

Contaminantes tóxicos (productos químicos)

Los productos químicos tóxicos que pueden ingresar a los suministros de agua potable se regulan conforme a los términos de la Ley de Agua Potable Segura de 1974 y sus correspondientes modificaciones. La Ley estipula el establecimiento de regulaciones de cumplimiento obligatorio –cuando proceda– y también establece los procesos a seguir para agregar contaminantes adicionales a la lista. Todos los días aparecen nuevos contaminantes en el medio ambiente que presentan un riesgo potencial de convertirse en tóxicos y que provienen de la industria, la agricultura, los productos químicos farmacéuticos, la explotación minera y la extracción de gas natural. La Ley de Agua Potable Segura establece que los contaminantes potenciales se incluyan en una lista de Candidatos a Contaminantes y que, además, se realice una investigación con el fin de determinar si un contaminante debe regularse y a qué nivel. La legislación también establece que se determine si deben regularse al menos cinco contaminantes cada cinco años. Venkataraman (2013) ofrece pruebas que demuestran que la cantidad de contaminantes que se agregan a la Lista de Candidatos a Contaminantes aumenta con tal rapidez que supera la capacidad de la EPA para evaluarlos. La clave del problema es que la escala y el financiamiento con el que cuentan los programas existentes que identifican y evalúan nuevos contaminantes, no son suficientes.

Es más, el problema se agrava debido a la administración federal, que ha reducido y continuará reduciendo los fondos disponibles para auspiciar la investigación y el análisis científico necesario para evaluar contaminantes potenciales. Esto significa que, aun mientras aumenta el número de contaminantes potenciales, la capacidad para evaluarlos y formular una posible regulación es cada vez menor. Bajo estas circunstancias, no es más que cuestión de tiempo que un contaminante importante escape a la regulación y cause daños severos, ya sea a los seres humanos o al medio ambiente. A pesar de lo anterior, Venkataraman (2013) informa los resultados de una serie de encuestas que muestran una enorme falta de percepción de los ciudadanos en cuanto al hecho de que las amenazas a la salubridad de los suministros de agua generalmente no son perceptibles a simple vista.

Cranor (2017) ha documentado de manera amplia las dificultades generales que enfrenta el Gobierno en sus intentos de regular las sustancias tóxicas. Él plantea dos preguntas cruciales que sirven como base en prácticamente todas las decisiones

que deben tomarse sobre cuándo y de qué manera formular la regulación:

- ¿En qué momento debe evaluarse la vida del producto químico para determinar si tiene efectos nocivos para la salud?
- ¿Qué tipo y cantidad de evidencia científica debe exigirse para proteger la salud pública?

Y añade que la gran mayoría de los productos químicos que se introducen en los mercados no se evalúan antes de ello. Aunque se puede argumentar que es necesario evaluar los productos químicos antes de su lanzamiento a los mercados, en la práctica simplemente se liberan y se espera que no haya efectos nocivos. Con respecto a la calidad y cantidad de conocimientos científicos necesarios para evaluar nuevas sustancias químicas, Cranor señala muchas instancias en las que la industria (y otras) han insistido en que la regulación debe basarse en conocimientos que sean capaces de arrojar resultados inequívocos. Rara vez es posible llegar a tales conclusiones, económica o científicamente. El resultado es entonces una falla en la evaluación de contaminantes potenciales sobre la base de su posibilidad de riesgo y simplemente se asume que la falta de información científica sobre los probables impactos significa que éstos serán benignos. Este tipo de fenómeno ha dado lugar al concepto del "principio de cautela" en el que las decisiones acerca de la necesidad de regulación deben basarse sobre la idea de que contar con poca información o información inadecuada debería ser motivo para prohibir o limitar totalmente la propuesta de proceder a desarrollar o lanzar un producto al mercado (Cranor, 2017).

El problema de la proliferación de nuevos productos químicos desarrollados para su lanzamiento cada año, junto con una regulación inadecuada y un sistema de incentivos que provoca que los productores rechacen la regulación, son un mal presagio para el futuro de la calidad del agua en general, y del agua potable en particular. No hay soluciones obvias viables para este problema debido a la falta de recursos para llevarlas a cabo. No se puede evitar concluir que el país debe estar preparado para un evento catastrófico que podría evitarse mediante una regulación adecuada previa a la búsqueda y desarrollo de estrategias de regulación con base científica, a fin de proteger la salud y el bienestar del público.

Contaminantes de fuentes no puntuales

El historial de la última mitad de siglo sugiere que el país ha hecho un trabajo razonable y eficaz de limpia de sus aguas superficiales y de mantener la relativa buena calidad del agua desde entonces. La explicación de este éxito radica principalmente en el hecho de que las políticas de gestión y regulación se han centrado principalmente en las fuentes puntuales de contaminación. No se ha logrado un éxito similar en la regulación y gestión de contaminantes de fuentes no localizadas, a pesar de que la Ley de Agua Limpia ha reconocido la importancia de los contaminantes de fuentes no localizadas. La Ley autorizó varios programas centrados en la gestión de fuentes no puntuales, pero existe un consenso general que indica que no han tenido mucho éxito. Lo anterior se ha atribuido al hecho de que sólo una pequeña parte de los recursos federales asignados al control de la contaminación se destinó a fuentes no puntuales, debido a las dificultades técnicas inherentes a la regulación de contaminantes de fuentes no puntuales.

Los contaminantes de fuentes no puntuales se caracterizan por el hecho de que sus fuentes son difusas, incluyen sedimentos, nutrientes y sustancias químicas, así como contaminantes y agentes patógenos. Son transportados por los flujos de aguas pluviales, los deshielos y otros fenómenos hidrológicos que trasladan sólidos disueltos o suspendidos a través de la superficie, o que se filtran a las aguas subterráneas. En este último caso, la gravedad y la estructura del suelo desempeñan un importante papel en el traslado de los contaminantes (Puckett, 1995). La naturaleza difusa de estos contaminantes hace su regulación sumamente difícil. De hecho, son casi imposibles de regular directamente y, por tanto, deben regularse de forma indirecta mediante el control o la regulación de las actividades que los generan. Lo anterior implica un costo elevado, que se incrementa aún más si se tienen en cuenta los costos de monitoreo necesario. Las consecuencias de la contaminación de fuentes no localizadas y no reguladas incluyen la sedimentación de las vías fluviales, el enriquecimiento de nutrientes (generalmente de fósforo o nitrógeno) de lagos y arroyos (eutrofización) provocado por los seres humanos, la contaminación biológica y química de los suministros de agua y la contaminación de las aguas subterráneas. Así, pues, por ejemplo, el problema más

evidente de la eutrofización o el enriquecimiento artificial de las vías fluviales con nutrientes se debe principalmente a fuentes no localizadas que no están reguladas de forma eficiente (Puckett, 1995).

Existe una gran variedad de estrategias y técnicas para regular la contaminación de fuentes no localizadas que se han desarrollado en los últimos 50 años. Actualmente, todas ellas se incluyen normalmente bajo la sección de "Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas". El concepto incorpora la idea de que el manejo del agua y los recursos de tierra conexos deben llevarse a cabo teniendo en cuenta las cuencas, dado que éstas son las unidades hidrológicas primarias. El concepto también incorpora la noción de que deben utilizarse las Mejores Prácticas de Gestión (BMP) si la erosión, la aplicación de productos químicos (fertilizantes y pesticidas) y el transporte no deseado de sedimentos, nutrientes y otros contaminantes han de mantenerse en un absoluto mínimo (Mostaghimi, Brannon, Dillaha y Bruggeman, 2001).

Entre las diversas técnicas que se pueden emplear para el manejo integrado de las cuencas hidrográficas y que reducirían las descargas de fuentes no localizadas a sitios fuera de la cuenca, se incluyen las siguientes:

- Labranza de conservación para reducir la erosión y los flujos de sedimentos.
- Agricultura de contorno y cultivo en franjas.
- Zonas de amortiguación, especialmente cercanas a las vías fluviales.
- Uso de cultivos de cobertura y rotación adecuada de los cultivos.
- Agricultura de precisión para el manejo de nutrientes y plagas.
- Pastoreo rotativo.
- Estructuras de detención de sedimentos y humedales construidos donde sea necesario.

La combinación adecuada de estas técnicas varía de un lugar a otro y depende de las condiciones y actividades locales. La variabilidad de las condiciones hidrológicas y ambientales en las cuencas hidrográficas a nivel nacional implica que la forma en que la regulación centralizada, de comando y control, podría emplearse a nivel federal, no es particularmente factible. Por otra parte, los problemas actuales que requieren utilizar Mejores Prácticas de Gestión se derivan del hecho de que éstas deben utilizarse principalmente de forma voluntaria. Esto quiere decir que es poco probable que se tomen medidas costosas y genera un problema en la cuenca porque los operadores agrícolas, industriales y otros que son independientes, deben trabajar en cooperativa (Mostaghimi, Brannon, Dillaha y Bruggeman, 2001).

Existe una gran variedad de maneras en que los usuarios de una cuenca podrían organizarse para administrar fuentes no localizadas, como la formación de distritos especiales –que funcionan como unidades locales de los gobiernos–, el establecimiento de cooperativas que crean regímenes reguladores a través de procesos de autogobierno y arreglos informales de carácter colectivo. Se ha considerado también implementar un sistema de intercambio entre las fuentes localizadas y no localizadas, a cambio del control de las fuentes de contaminación no localizadas (Ribaudo y Gottleib, 2010). Es probablemente cierto que los estados, e incluso el Gobierno federal, podrían exigir que estos acuerdos se lleven a cabo, pero no es muy seguro dada la falta de subsidios que, en su totalidad, probablemente sean muy altos. Existen casos en los que los usuarios de cuencas se han organizado de manera voluntaria para trabajar colectivamente a fin de controlar la contaminación de fuentes no localizadas, pero son muy pocos, y no es muy probable que una organización estrictamente voluntaria pueda resolver el problema a escala nacional o, incluso, regional.

La situación que emerge sugiere que no es posible controlar la contaminación de fuentes no puntuales a nivel nacional o estatal de manera fácil o económica. Puede que los estándares tecnológicos y las Mejores Prácticas de Gestión sean obligatorios, pero eso no garantiza que sean efectivos. Una de las razones por las que los esfuerzos encaminados a controlar las emisiones de fuentes puntuales han sido mucho más eficaces que los esfuerzos complementarios para abordar las emisiones de fuentes no puntuales es el nivel asimétrico de la inversión federal en las actividades de control. Se estima que 90% de los recursos federales asignados a la gestión de la calidad del agua desde 1972 se ha utilizado para abordar los problemas de contaminación de fuentes puntuales. El restante 10% se ha utilizado en problemas de fuentes no localizadas, lo cual destaca la necesidad de apoyos financie-

ros equilibrados por parte del Gobierno. El hecho de que la mayoría de los programas de control de fuentes no puntuales tengan que diseñarse e implementarse local o regionalmente constituirá un obstáculo para llevar a cabo esfuerzos a nivel nacional que ofrezcan una mayor solución a estos problemas. Parecería que encontrar maneras de diseñar e implementar programas para administrar los contaminantes de fuentes no puntuales probablemente continúe siendo el mayor problema de los EUA en el futuro inmediato.

Problemas de salinidad en la agricultura y en otros sectores

Todas las aguas de origen natural contienen sales minerales disueltas. Siempre y cuando estas sales se encuentren en bajas concentraciones, no ofrecen problemas cualitativos para todos los usos del agua. Las aguas con concentraciones "significativas" de sales (definidas como más de 5,000 partes por millón) se consideran de calidad deteriorada para la mayoría de los usos. El agua de buena calidad se define como aquella con concentraciones salinas menores a 600 ppm. En las actividades como la agricultura de riego, en la que el agua que se utiliza experimenta un cambio de fase de líquido a un estado de gas concentrado, se observa que, en la medida que se evapora o se transpira, las sales permanecen en la raíz y se acumulan, a menos que el agua se trate. Por encima de cierto nivel umbral, que difiere según el cultivo, las concentraciones de salinidad dan como resultado una reducción en el rendimiento y, en concentraciones relativamente más altas, limitan por completo la productividad. La salinidad también se puede introducir en las zonas de las raíces de los cultivos por las capas freáticas altas o por la salinidad natural del suelo, que puede disolverse en el agua de riego (Gratton, 2002).

La superficie de riego en los EUA suma alrededor de 22.26 millones de hectáreas; de éstas, se estima que tal vez 30% esté expuesto a la salinización. Esto es importante para la producción porque aproximadamente 45% de la producción de cultivos se debe a 28% de las hectáreas que se riegan (Departamento de Agricultura de los EUA, 2014). El método común para combatir la salinidad es aplicar más agua que la que el cultivo requiere, para que las sales se aparten por lixiviación de la zona de la raíz. Este incremento de agua se denomina "fracción de lixiviación" y su cantidad depende de la concentración de sal del agua y del cultivo en cuestión. Cuando los niveles freáticos son altos y/o la fracción de lixiviación no se drena fácilmente, es necesario instalar drenajes para eliminar el agua de la zona de la raíz mediante la gravedad. Esto se lleva a cabo normalmente mediante la instalación de tejas de drenaje bajo la superficie para eliminar el agua de la zona de la raíz. El agua de drenaje normalmente es bastante salada y esto puede representar un problema importante para la eliminación. Los estanques de desechos y evaporación de los océanos se utilizan con frecuencia para este fin, pero no están libres de problemas (Orlob, 1991). De ese modo, cuando se practica la agricultura de riego, el agua y la salinidad del suelo amenazan la productividad agrícola y pueden plantear una amenaza por las aguas de drenaje salino que son resultado necesario de los esfuerzos de gestión para proteger la productividad del suelo y el agua (Pitman y Lauchli, 2002).

La salinización de las tierras agrícolas es un problema que se remonta a miles de años atrás. La civilización sumeria, la gran Mesopotamia y la Hohokam de las Américas se encuentran entre las civilizaciones que se cree fueron devastadas por la salinización de sus tierras agrícolas y la posterior pérdida de su suministro de alimentos. El manejo de la salinidad y su papel en el deterioro de la calidad del agua continuarán representando un problema por mucho tiempo. En este momento, sin embargo, la salinidad está a punto de convertirse en un problema para la calidad del agua de las ciudades ubicadas en las partes áridas y semiáridas de los EUA. La ciudad de Phoenix, Arizona, es el mejor ejemplo. Phoenix es la quinta ciudad más grande de los EUA en términos de población. Se encuentra ubicada en una región árida con una precipitación anual promedio de 200 mm. Su suministro de agua se compone de una cantidad considerable importada desde zonas remotas. Mucha de esa agua es bastante salada. La cantidad estimada de sal importada al área de Phoenix anualmente es de 2.2 X 108 kg, mientras que la cantidad exportada es tan sólo de 2.2 X 105 kg. Esta situación es insostenible (Oficina de Reclamaciones de los EUA, 2015).

La manifestación actual más evidente de la creciente salinización urbana se puede observar en el aumento del contenido de salinidad de las corrientes de aguas residuales que llegan a las plantas de

tratamiento. Las concentraciones que podrían esperarse de la importación de sal se han agravado aún más porque los descalcificadores de agua se utilizan ampliamente en el área de Phoenix. Ellos funcionan empleando una columna de intercambio de elementos de endurecimiento (zeolitas) por iones de sodio. El descalcificador de agua aporta sales minerales al flujo de residuos. La gravedad del problema se hace evidente si se considera que prácticamente todas las aguas residuales tratadas en el área de Phoenix han sido recicladas; se utilizan para el riego de jardines (campos de golf y parques públicos) y para la recarga de las aguas subterráneas. La desalinización de estos flujos de residuos implica altos costos, aunque éstos tienen que ver con la salinidad del agua de alimentación (Centro Nacional de Investigación, 2008). El hecho es que, de una manera u otra, el aumento de los costos de un suministro de agua relativamente caro y escaso probablemente aumentará más con el tiempo. Es posible reducir las concentraciones de sal mediante un menor uso de agua (en un área que experimenta estrés hídrico) y mediante la regulación de las sustancias que se adicionan al agua y que contribuyen al problema, como los descalcificadores (Oficina de Reclamaciones de los EUA, 2015).

Con el paso del tiempo, la salinidad se convertirá en un problema generalizado que repercutirá en la mayoría de los usos que se dan al agua. Es apenas ahora que las investigaciones comienzan a tomar en cuenta este problema, ya que afecta a asentamientos urbanos localizados en regiones áridas y semiáridas.

Monitoreo

La gestión eficaz de la calidad del agua (y de las cantidades de agua) depende de la generación de datos relevantes sobre las tendencias y el estado de la calidad del agua. La observancia eficaz de los estándares y las regulaciones depende del monitoreo. Al margen de otros factores, mientras más sofisticado sea el sistema de gestión de la calidad del agua, más datos en cuanto a ésta se necesitan para el diseño y operación del sistema. Simplemente no existe nada que sustituya la información sobre la buena calidad y cantidad de agua; es información fundamental y esencial para resolver el problema de gestión del agua. Los métodos modernos de monitoreo dependen de sofisticadas tecnologías que muchas veces son costosas de adquirir y mantener. El monitoreo casi siempre dependerá del financiamiento público, ya que los beneficios son para todos. No obstante, el público no aprecia el esfuerzo de recopilación y gestión de datos en toda su extensión. Ciertamente, es muy difícil generar el apoyo político necesario para reunir los fondos necesarios para subsidiar las actividades elementales de monitoreo.

Esto se ha podido constatar especialmente en los EUA en las últimas dos o tres décadas, donde –por dar un ejemplo– el número de estaciones de medición de flujo se ha reducido de forma considerable como consecuencia de la austeridad de los presupuestos. Las constantes presiones en cuanto a la calidad del agua ocasionadas por el crecimiento económico y demográfico continúan ocurriendo en un momento en que los recursos y la voluntad que se requieren para observar de cerca las consecuencias de naturaleza cualitativa de estas presiones en las aguas nacionales no están disponibles. No existen pruebas de que esta tendencia al alza de ineptitud pueda revertirse en un futuro cercano o a más largo plazo. A pesar de eso, será necesario implementar técnicas y protocolos nuevos y mejorados para el monitoreo de la calidad del agua en un futuro, si ha de conservarse ésta. El desarrollo y el mantenimiento de los sistemas de monitoreo de calidad del agua necesarios para el futuro forman parte de los grandes retos de calidad del agua en el país.

Problemas con la infraestructura[1]

Los EUA enfrentan serios problemas con su infraestructura en general, atribuibles a muchos años de mantenimiento diferido y a la falta de voluntad política para continuar con las tareas de renovación de infraestructura: desde instalaciones básicas de transporte hasta instalaciones de suministro de agua y saneamiento. La infraestructura tanto de suministro de agua como de saneamiento se está volviendo obsoleta. Es más, se espera que estas instalaciones ya obsoletas continúen brindando servicio a poblaciones más grandes y a un nivel más alto de calidad que en años previos. En 2013, la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (2013) concluyó que los sistemas de agua potable obsoletos enfrentan un déficit de $11 mil millones de dólares que se requie-

1. Partes de este argumento se atribuyen, en gran medida, a Vaux, 2015.

ren para reemplazar y/o renovar las instalaciones para cumplir con las normas actuales y futuras del agua. El informe también señala que los costos de tratamiento y suministro de agua potable exceden los recursos disponibles para mantener los sistemas de agua potable. La preocupación se manifiesta tanto por las instalaciones aseguradas a nivel federal como por las empresas locales que continúan teniendo déficits operativos. Por último, el informe destaca el hecho de que los políticos electos parecían, hasta ahora, reacios a aportar los recursos necesarios para mantener y renovar la infraestructura para el agua potable y el saneamiento. Esto, a su vez, pone en riesgo la protección de la salud pública y la prestación de servicios públicos.

El escenario con respecto a la calidad del agua no es muy diferente. Muchas de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, subvencionadas con dólares federales conforme a la Ley de Agua Limpia, han operado durante casi 50 años y dentro de muy poco será necesario invertir en su mantenimiento y renovación. Las posibilidades de obtener financiamiento para lo anterior son remotas. Parte del problema tiene con ver con el hecho de que la gente parece no darse cuenta del peligro que implica el envejecimiento de las instalaciones de agua potable y de tratamiento de aguas residuales. Venktaraman (2013) informa los resultados de una serie de encuestas que evidencian una marcada disminución en cuanto a la preocupación del público sobre la calidad y disponibilidad del suministro de agua. Atribuye esta falta de interés al hecho de que los problemas de disponibilidad y salubridad de los suministros de agua no son perceptibles a simple vista. Señala que quizás lo más importante sea que el precio de los suministros de agua y de los servicios de tratamiento de aguas residuales en los EUA sean muy bajos, promediando sólo 0.3% del ingreso disponible. Esto significa que los consumidores sólo cubren una pequeña parte de lo que se invierte para poder suministrar agua potable y llevar a cabo servicios de saneamiento.

La situación del abastecimiento de agua y saneamiento urbano en los EUA ilustra muy bien la "Paradoja del Agua en Países Desarrollados" (Venktaraman, 2013). La cantidad y calidad de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento se encuentra ahora en mayor riesgo, a pesar de que alguna vez fueron la envidia del mundo. La apatía pública y la aparente falta de voluntad de los usuarios en pagar una parte significativa del capital y los costos de operación de dichos sistemas ponen en peligro la eficacia y calidad futura de los suministros de agua y de la calidad de ésta en general. Sobreponerse a esta apatía requerirá educación y voluntad política para atender estos serios problemas de infraestructura.

Gobernabilidad

La historia de la calidad del agua y su gestión en los EUA ilustra cómo una gestión eficaz precisa la intervención y supervisión del Gobierno federal. El establecimiento y aplicación de estándares de contaminación del agua se convierten en objeto de competencia si se deja a los estados. Los estados tienen interés en establecer estándares bajos y de bajarlos incluso más en un esfuerzo por atraer nuevos negocios o atraer negocios de otros estados cuyos estándares son más estrictos. Esto da origen al no establecimiento de estándares o al establecimiento de estándares bajos, y esto, a su vez, resulta en niveles inaceptables de contaminación. Del mismo modo, se requiere responsabilidad y supervisión federal para proteger y salvaguardar la calidad del agua potable. Sólo el Gobierno federal cuenta con los recursos necesarios para promover el conocimiento científico con que pueden fundamentarse los estándares de agua potable. Y sólo éste puede garantizar que se establezca y ponga en práctica un conjunto general de estándares de agua potable a nivel nacional. Esto no quiere decir que el Gobierno federal no pueda delegar el establecimiento de estándares y su cumplimiento a los estados, y que sea responsable de las políticas de supervisión y vigilancia para asegurar que los estados cumplan las disposiciones de la Ley de Agua Potable Segura de 1974, en su forma enmendada. A pesar de la primacía otorgada al Gobierno federal sobre las leyes de calidad del agua y de agua potable, existen temas de interés que deben abordarse si hemos de ver los éxitos del pasado como una promesa para el futuro.

Se ha dicho más de una vez que un camello es un caballo diseñado por un comité. La democracia participativa es caótica y depende de la voluntad de los participantes para encontrar compromisos viables, de manera que, por ejemplo, los procesos que dieron origen a las estrategias de gestión de la contaminación que se adoptaron en la década de 1970,

culminaron en un enfoque global que trataba a los sumideros receptores de residuos de forma individual. De ahí que el país no haya logrado gestionar sus flujos de residuos de una manera integral que unifique no sólo a los tres sumideros –tierra, aire y agua–, sino también a las interacciones entre ellos. Incluso cuando gobiernan las leyes de la física y no hay desacuerdo sobre la exactitud y veracidad de la ciencia relevante, hay que aceptar una desviación de las fórmulas de esa ciencia, y éste fue el precio a pagar para disponer de un programa eficaz de control de la contaminación. Pero ¿qué pasa si la ciencia es ambigua?

Se ha utilizado la incertidumbre inherente de una buena parte de la ciencia de forma estratégica para bloquear acciones regulatorias (Cranor, 2017). Casi siempre esto se ha logrado debido a los objetivos de la regulación y la elaboración de estándares que sostienen que no se deben establecer normas a menos que exista una certeza absoluta sobre la ciencia. Estas estrategias, en muchos casos, incluyen el uso de "expertos" dispuestos a declarar que hay desacuerdos científicos válidos que deben resolverse primero. Otra estrategia de este tipo, a menudo empleada por los ambientalistas, sostiene que debe aplicarse el "principio de cautela" en todos los casos donde una actividad pueda causar daños ambientales. El "principio de cautela" sostiene que cuando la ciencia no sustenta totalmente una actividad o deba obtenerse un permiso para llevar a cabo una acción, debe asumirse que es necesario contar con una certeza científica prácticamente total antes de permitirse la actividad en cuestión.

En igualdad de condiciones, las políticas deberían basarse en la mejor ciencia disponible. Empero, las estrategias diseñadas para confundir o cuestionar falsamente la credibilidad de la ciencia existente pueden desacreditar la ciencia que es razonable y fundada. Centrarse en la certeza o falta de certeza de la ciencia disponible suele ser perjudicial, además de que distrae la atención que debe enfocarse a los esfuerzos encaminados a la formulación de políticas. El tipo de gobierno democrático que actualmente impera en los EUA parece propiciar este tipo de disputas sobre la ciencia con el propósito de interrumpir el proceso político, en lugar de hacer posible que se promulguen las políticas pertinentes, a partir de la mejor ciencia disponible, y dirigirlas a los objetivos más apremiantes como la contaminación del agua u otros tipos de contaminación ambiental. En los próximos años será necesario realizar revisiones exhaustivas de la gestión de la calidad del agua como parte de una necesidad largamente postergada de actualizar las políticas en respuesta a las circunstancias actuales. Las revisiones deberán tener en cuenta la ciencia disponible y establecer el escenario para el empleo de una ciencia bien fundamentada acorde a las políticas de gestión de la calidad del agua en un futuro.

Existe un segundo problema crucial relacionado con la gobernanza que afecta al país hoy. Los dirigentes políticos rechazan la ciencia. En consecuencia, se resta importancia al cambio climático, por ejemplo, porque aseguran que es un invento de los chinos para perjudicar a la economía. Los altos funcionarios que dirigen los principales organismos ambientales han expresado su intención de eliminar un gran número de normas ambientales y favorecer un mayor desarrollo de hidrocarburos y otros depósitos minerales en tierras públicas que tradicionalmente se han reservado para fines ambientales y recreativos. Aunque la mayoría de las normas emitidas de conformidad con la Ley de Agua Limpia y sus enmiendas y la Ley de Agua Potable Segura modificada no han sido revocadas, muchas se han relajado, al igual que muchos procedimientos relacionados con el manejo de desechos tóxicos (Cranor, 2018). No sería de sorprender que se emprendieran otras acciones que debilitaran aún más los estándares de calidad del agua, incluidos los relacionados con la gestión de la calidad del agua potable.

Los problemas relacionados con la regulación de la calidad del agua y la seguridad del agua potable a nivel nacional, probablemente persistan debido a la falta de una legislación nueva y moderna sobre estos temas. Los problemas con los dirigentes políticos actuales a nivel nacional ponen en riesgo directamente la calidad del medio ambiente (incluida la calidad del agua), la salud y la seguridad públicas, así como una serie de programas dirigidos al bienestar público, que han estado tradicionalmente bajo el control del Gobierno nacional. El prospecto de solución de los problemas originados por las políticas anticientíficas y las políticas relacionadas con la calidad ambiental y los servicios prestados por esta última se ve ensombrecido por la aparente apatía de los ciudadanos. Venktaraman (2013) infor-

ma los resultados de una serie de encuestas de opinión pública que revelan la apatía generalizada de la gente en relación con la calidad del agua y el saneamiento. Revertir esta inquietante tendencia en cuanto a la calidad del medio ambiente y la formulación de políticas para su regulación requiere despertar el interés del público de forma tal que la finalidad se logre a través de los procesos electorales.

Conclusiones

En sus comienzos como país, los EUA contaban con abundantes suministros de agua de buena calidad. Con el paso del tiempo, la calidad del agua disminuyó a medida que el crecimiento económico y demográfico generaban desechos y algunos de éstos terminaban, por accidente o deliberadamente, en los cuerpos de agua. Durante el siglo XIX y principios del XX, se adoptaron varias estrategias en un esfuerzo por atenuar la disminución de la calidad del agua y establecer mecanismos para su mejora. Entre éstos se contó con la construcción de más espacios de almacenamiento para diluir la contaminación y la formulación de una ley federal cuya responsabilidad era trabajar con los estados en la gestión y mejora de la calidad del agua. Ninguna de estas estrategias resultó viable. A mediados del siglo XX se aprobaron dos leyes que resultaron ser razonablemente efectivas. La Ley de Agua Limpia de 1972 tomó en cuenta el estado de las aguas superficiales del país y proporcionó los medios para mejorar y regular su calidad. Se adoptó la Ley de Agua Potable Segura de 1974 como respuesta al aumento de enfermedades transmitidas por el agua. Ambas leyes, en su versión modificada, tuvieron un desempeño razonablemente satisfactorio en el cumplimiento de sus objetivos establecidos.

A pesar de este aparente éxito, las leyes tienen fallas que deben corregirse. Además, el crecimiento económico y demográfico continúa, por lo que es necesario actualizar ambas leyes para que los buenos resultados del pasado continúen en el futuro. El Principio de Balance de Materia que surge a raíz de la Ley de Conservación de la Materia y la Energía concluye que es importante gestionar los residuos de manera integral. Es decir, que los tres sumideros de residuos –tierra, aire y agua– deben considerarse juntos y las interrelaciones entre ellos deben ser reconocidas en las estrategias modernas de control de contaminación del agua. La Ley de Agua Limpia de 1972 es específica para sumideros, al igual que la Ley de Control de Contaminación del Aire. Las futuras estrategias de gestión de contaminación del agua deberán considerar al agua como uno de los tres sumideros que han de gestionarse de manera integral, y prestar especial atención a la relación entre ellos. La Ley de Agua Limpia también autorizó un programa de tratamiento de aguas residuales muy extenso que fue ampliamente subsidiado con fondos federales. El programa ha tenido mucho éxito, pero las instalaciones se encuentran ya casi al final de su vida productiva y necesitan renovarse. No existe ninguna prueba que sugiera que el Gobierno federal esté preparado para enfrentar estos retos.

Es necesario incorporar una regulación estricta sobre contaminantes tóxicos en la Ley de Agua Potable Segura de 1974, para evitar que aparezcan en las concentraciones especificadas. Todos los días aparecen nuevos contaminantes que provienen de la industria, la agricultura y la producción farmacéutica. Las medidas para identificar y evaluar nuevos contaminantes, previstas en la Ley de 1974, son deficientes y no satisfacen las demandas actuales. Existen varias maneras para rectificar este problema. Hay la posibilidad de obtener suficientes recursos que permitan evaluar y regular un mayor número de contaminantes anualmente. Otra posibilidad es que se formulen políticas de control de contaminantes antes de su lanzamiento al mercado. La práctica actual consiste en exigir que se identifiquen los contaminantes peligrosos hasta después de su lanzamiento, cuando ya han causado daños al medio ambiente y a la salud pública. Aparte de eso, las obsoletas instalaciones de suministro de agua y sanitarias constituyen un peligro para la calidad del agua potable, haciendo necesario que se ponga en marcha un programa nacional destinado a reconstruir y mejorar la infraestructura.

También existe una serie de problemas específicos de calidad del agua que deben atenderse de manera oportuna para que el país pueda disfrutar de los beneficios de aguas de alta calidad y agua potable segura. Éstos se tratarán en la sección final de este documento.

Recomendaciones

Contaminantes

Los contaminantes se encuentran presentes en el medio ambiente y todos los días suman más. Las instituciones existentes no están preparadas para enfrentar el problema en su escala actual. Las soluciones para este problema requieren que los recursos se aumenten considerablemente para poder llevar a cabo la identificación y evaluación de contaminantes y disponer de estándares más estrictos. Es necesario instaurar normas derivadas de un proceso de evaluación independiente y minucioso de los productos químicos antes de su liberación por parte de terceros, si se desea evitar una "intoxicación pública" generalizada.

Contaminantes de fuentes no localizadas

Las leyes anteriores han resultado bastante eficaces para la limpieza y regulación de una cantidad considerable de fuentes de contaminación localizadas. Actualmente, gran parte de la contaminación en aguas superficiales y subterráneas proviene de fuentes no localizadas. El control de estos contaminantes requiere una mayor atención por parte de todos los niveles del Gobierno federal, estatal y local de la que han recibido en el pasado. Parece que adaptar algún tipo de manejo integrado de cuencas, por el momento, es la perspectiva más prometedora para manejar este problema. Un acuerdo institucional intergubernamental con oportunidades de funcionar tendría que aprovechar los recursos disponibles del Gobierno federal y ponerlos a disposición de los estados, a los que se les requeriría establecer y supervisar la creación y operación de distritos locales cercanos a cuencas hidrográficas, y a estos últimos se les requeriría desarrollar e implementar programas integrados de manejo de cuencas enfocados específicamente a controlar la contaminación de fuentes no localizadas. El Gobierno federal proporcionaría los recursos y se encargaría de la supervisión, mientras que los estados serían responsables de una supervisión adicional y del cumplimiento de las condiciones impuestas para que los distritos sean eficaces y sostenibles.

Salinidad agrícola y urbana

A largo plazo, la salinidad, ya sea agrícola o urbana, deteriora la productividad de la tierra y aumenta los costos de abastecimiento de agua y saneamiento urbano. Así que, a menos que la importación de sal a una cuenca exceda la exportación, la salinidad se convertirá en un problema cada vez mayor. La gestión de las aguas salinas del drenaje será fundamental en el caso de las tierras agrícolas que se ven afectadas por el suministro de agua altamente salina y por las capas freáticas altas. Finalmente, la producción en las tierras con niveles salinos excepcionalmente altos y problemas de drenaje llegará a su fin. Podría ser conveniente dejar de producir ya en esas tierras y controlar los residuos de sal de manera eficaz. La salinidad urbana es un factor que aumentará el costo del suministro de agua y el saneamiento a medida que los problemas de eliminación de sal se vuelvan cada vez más graves. No es difícil imaginar las circunstancias en las que los costos de controlar la salinidad urbana ocasionen una emigración. El proceso de desalinización es bastante costoso, aunque los costos guardan relación con la concentración de sal de las aguas de alimentación, y el uso de la tecnología de desalinización puede retrasar este proceso en las áreas urbanas.

Infraestructura

EUA tiene un grave problema de renovación de infraestructura causado por la apatía pública y la negligencia general. La infraestructura de suministro de agua y saneamiento no es la excepción a este problema. Resulta difícil imaginar cómo superarlo sin las inyecciones masivas de dinero de las bases tributarias nacionales, estatales y locales, así como de los contribuyentes. Lo que más se necesita en este momento es un programa eficaz de educación a gran escala diseñado para alertar al público sobre la gravedad del problema, las consecuencias de no hacer nada y los costos de abordarlo. Es cierto que los sistemas descentralizados de suministro de agua y un mayor uso de agua reciclada serían de gran ayuda. La largamente pospuesta renovación de las instalaciones, junto con el hecho de que muchos proveedores locales no cuentan con fondos de reserva en este momento, o medios para obtenerlos de las tarifas actuales, sugieren que el problema no tiene solución a menos que se aumenten las tarifas y los impuestos.

Gobernanza

La postura actual de los dirigentes políticos en las instituciones del Gobierno federal que se ocupan del medio ambiente se limita a descartar la ciencia para la formulación de políticas y a ignorar muchas de las normas actuales. Estas condiciones amenazan con causar daños reales en forma de tóxicos no regulados, y de laxitud de las regulaciones destinadas a proteger y mejorar la salud y la seguridad públicas, así como el bienestar común. Existen dos formas de solucionar lo anterior y ambas son necesarias. La primera es a través del proceso electoral. Elija dirigentes que crean en la ciencia y la evidencia científica. La segunda es invertir en educación en todos los niveles y cultivar una población que esté muy consciente de la necesidad de la ciencia, así como de las normas razonables para proteger el medio ambiente, la salud pública y el bienestar general.

Referencias bibliográficas

Adler, Robert W., J.C. Landeman and D.M. Cameron (1993). *The Clean Water Act: 20 Years Later. Washington,* DC: The Island Press. 320 pp.

American Society of Civil Engineers (2013). *Report Card for America's Infrastructure.* Disponible en: https://www.infrastructurereportcard.org/

Andreen, William L. (2003). Water Quality Today. Has the Clean Water Act Been A Success? *Alabama Law Review,* Vol. 537. University of Alabama School of Law.

Ayers, Robert U., Allen V. Kneese and Ralph C. d'Arge (2015). *Economics and the Environment: A Materials Balance Approach.* New York: Routledge. 121 pp.

Baumol, William J. and Wallace E. Oates (1993). *Economics, Environmental Policy and the Quality of Life.* Engelwood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc. 377 pp.

Bearden, David M., Claudia Copeland, Linda Luther, James E. McCarthy, Linda-Jo Schierow and Mary Tiemann (2010). *Environmental Laws: Summaries of Major Statutes Administered by the Environmental Protection Agency.* Washington, DC: Congressional Research Service. Report # 7-5700, pp.22-30.

Bureau of Water Hygiene (1970). *Community Water Supply Study–Analysis of National Survey Findings.* Washington, D.C.

Copeland, Claudia (2016a). *Water Quality issues in the 114th Congress: An Overview.* Washington, DC: Congressional Research Service. Report 7-5700, pp. 1-17.

Copeland, Claudia (2016b). *Clean Water Act: A Summary of the Law. Congressional Research Service.* Washington, DC: CRS Report RL 30030.

Cranor, Carl F. (2017). *Tragic Failures: How and Why We Are Harmed by Toxic Chemicals.* New York: Oxford University Press. 252 pp.

Cranor, Carl F. (2018). Personal communication. 01-08-18.

Dolbear, F. Trenery, J. (1967). On the Theory of Optimum Externality. *American Economic Review,* Vol. 57. pp. 90-103.

Douglas, Thomas J. (1976). Safe Drinking Water Act of 1974 – History and Critique. *Boston College Environmental Affairs Law Review,* Vol. 5, Issue 3, Article 5. pp. 1-44.

Environmental Protection Agency (2010). *Factoids: Drinking Water and Ground Water Statistics for 2009.* Disponible en: https://nepis.epa.gov/Excel/zyPGF.cgi/P100N2VG.PDF?Dockey=P100N2VG.PDF

Gratton, Stephen R. (2002). *Irrigation Water Salinity and Crop Production.* Oakland, CA: University of California Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 8806. pp. 1-8.

Lawrence R. and Elliott P. Laws (1987). The Water Quality Act of 1987: A Major Step in Assuring the Quality of the Nation's Waters. *Environmental Law Reporter.* 17ELR 10311.

Mostaghimi, Saied, Kevin Brannon, Theo A. Dillaha and Adriana Bruggeman (2001). Best Management Practices for Nonpoint Source Pollution Control: Selection and Assessment. In Ritter, Wi-

lliam and Adel Shirmohmammadi (eds.). *Agriculture and Nonpoint Source Pollution: Watershed Management and Hydrology.* Washington, DC: Lewis Publishers. pp. 257-304.

National Research Council (2004). *Confronting the Nation's Water Problems: The Role of Research.* Washington, DC: The National Academies Press. Disponible en: http://doi.org/10.17226/11031

National Research Council (2008). *Desalination: A National Perspective.* Washington, DC: National Academies Press. 298 pp.

Orlob, Gerald T. (1991). San Joaquin Salt Balance: Future Problems and Possible Solutions. In Ariel Dinar and David Zilberman (eds.). *The Economics and Management of Water and Drainage in Agriculture.* Boston, MA: Kluser Academic Publishers. pp. 143-167.

Pitman, Michael G. and Andre Lauchli (2002). Global Impact of Salinity and Agricultural Ecosystems. In Andre Lauchli, Andre and Ulrich Luttge (eds.). *Salinity: Environmental-Plants-Molecules.* Dordrecht: Springer. pp. 3-20.

Puckett, Larry J. (1995). Identifying Major Sources of Nutrient Water Pollution. *Environmental Science and Technology,* Vol. 29, No. 9. pp. 408A-414A.

Ribaudo, Marc O. and Jessica Gottleib (2010). Point-NonPoint Trading – Can It Work? *Journal of the American Water Resources Association,* Vol. 47, No. 1. pp. 5-14.

Tiemann, Mary (2017). *Safe Drinking Water Act (SDWA): A Summary of the Act and Its Basic Requirements.* Congressional Research Service. Report 7-5700. Washington, D.C. pp. 1 – 27.

U.S. Bureau of Reclamation (2015). *Central Arizona Salinity Study, Technical Appendix O.* pp. 1-12. Disponible en: https://www.usbr.gov/lc/phoenix/programs/cass/cass/html

U.S. Department of Agriculture (2014). *2013 Farm and Ranch Irrigation Survey. U.S. Census of Agriculture.* Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.

Vaux, Jr., Henry (2015). An Overview of Urban Water Management and Problems in the U.S.A. In IANAS, *Urban Water: Challenges in the Americas. A Perspective from the Academies of Sciences.* Mexico City: InterAmerican Network of Academies of Science. pp. 504-523.

Venktaraman, Bhawani (2013). Access to Safe Water: A Paradox in Developed Nations. *Environment*, Vol. 55, No. 4, July/August. pp. 24-34.

Grenada

Aunque es una pequeña isla en desarrollo en el sur del Caribe y cuenta con abundantes suministros de agua dulce, **Grenada** enfrenta constantes obstáculos que le dificultan garantizar una calidad óptima del agua. Las limitaciones técnicas y económicas han dado lugar a un sistema de distribución ineficiente y una repetida falta de capacidad que le han impedido garantizar el cumplimiento cabal de las normas físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua. Una estrategia integral diseñada para abordar estos desafíos, centrada en mejorar la gobernanza, el desarrollo y la implementación rigurosa de los instrumentos legales, garantizará que la población de **Grenada** continúe contando con acceso a agua potable segura.

Cascada Concord, Grenada © iStock

Calidad del agua en las Américas - Grenada

Kerry Mitchell, Martin S. Forde y Allan Neptune

1. Introducción

Ubicada a 12°07′N y 61°40′W, Grenada se compone de tres islas: Grenada, Carriacou y Petit Martinique, y es el país caribeño en el extremo sur de las Islas de Barlovento. Las tres islas son de origen volcánico y están compuestas principalmente por cúpulas andesitas, flujos de basalto y depósitos sedimentarios. La más grande de las tres islas es Grenada, con 312 km^2, y con su punto más alto en 840 m (**Figura 1**), seguida por Carriacou con 34 km^2 y Petite Martinique con 2 km^2 (Allen *et al*., 2014). El 25% de la superficie terrestre total de la isla de Grenada se encuentra por arriba de los 305 m, y aproximadamente el 70% de sus montañosas laderas tiene gradientes mayores a 20°, lo que da lugar a una topografía caracterizada por altas cumbres, pronunciadas pendientes y profundos valles en toda la isla (Forde & Neff, 2015). La temperatura ambiente en Grenada oscila entre 24 y 30°C con una humedad relativamente alta durante todo el año y ligeras variaciones según la hora del día (McSweeney *et al.,* 2006).

Grenada tiene dos estaciones en el año: una seca, que normalmente abarca los meses de enero a mayo, y una húmeda, que abarca los meses de junio a diciembre, con una precipitación media anual de 2350 mm, y se clasifica como selva tropical, según la clasificación climática de Köppen Geiger (AQUASTAT, 2014; Brink & Robinson, 2005). Por lo tanto, los principales desafíos en la gestión eficiente de los recursos hídricos de Grenada no radican principalmente en la cantidad de la que de éstos dispone, sino en las pérdidas de agua (agua no contabilizada) del sistema de distribución, debido a fugas, evaporación de los embalses y captación y transpiración de la vegetación aledaña. Las pérdidas de agua por transpiración se han atribuido a la mayor presencia de la especie arbórea dominante *Talipariti elatum* (conocida localmente como Blue Mahoe), que se ha utilizado tradicionalmente en técnicas de reforestación y conservación de bosques en áreas protegidas que abarcan varias zonas de captación en la isla (FAO, 1998; Government of Grenada, 2001a). El agua no contabilizada actualmente se estima en 25%, menos que el promedio de 35% en los países en desarrollo (Kingdom *et al*., 2006).

Kerry Mitchell. kmitche3@sgu.edu Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad de San Jorge.
Martin S. Forde. martinforde@mac.com Coordinador del capítulo. Doctor en Ciencias, Universidad de San Jorge.
Allan Neptune. aneptune@nawasa.gd NAWASA.

La isla cuenta con 71 cuencas hidrográficas designadas, de las cuales se puede extraer un rendimiento máximo de hasta 54,600 m^3 día-1 en la temporada de lluvias y 31,800 m^3 día-1 en la época de sequía (CDB, 2016). Existen cuatro instalaciones de tratamiento de agua donde se emplean procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y, finalmente, desinfección química, para tratar las aguas superficiales. Cuenta con otras 22 instalaciones de suministro de aguas superficiales en las que sólo se realizan los procesos de filtración y desinfección química. También cuenta con siete plantas de tratamiento acondicionadas con equipos de desinfección para el tratamiento de aguas subterráneas (NAWASA, 2018). Por último, hay dos plantas desalinizadoras: una en la isla de Carriacou y, la otra, en la isla de Petite Martinique, que se utilizan para aumentar la captación de agua de lluvia en estas dos islas.

Si bien Grenada se caracteriza por tener suficientes recursos de agua dulce, en especial durante la temporada de lluvias, ha tenido que solucionar algunos problemas con el fin de garantizar la calidad del agua destinada a consumo humano. La mayoría de estos problemas tienen su origen en la falta de recursos financieros necesarios para establecer una vigilancia regulatoria e implementar programas de muestreo integrales que puedan realizarse con frecuencia, para poder garantizar que el agua potable tratada sea segura. El posible impacto negativo de no resolver estos problemas se ve agravado por la falta de políticas y leyes –o su mala implementación– que son indispensables para garantizar la producción y suministro de agua potable segura a todos. Este capítulo examina estos temas, ofrece datos sobre la calidad del agua en los últimos 10 años, y destaca los desafíos que Grenada enfrenta actualmente en términos de suministro de agua de alta calidad a sus habitantes.

Figura 1. Mapa de Grenada, Carriacou y Petite Martinique

2. Gestión de la calidad del agua

La gestión de los recursos hídricos en Grenada depende de la acción coordinada de los interesados en los diversos sectores, cuya mayor responsabilidad es la protección del medio ambiente y la salud de la población. Los instrumentos legales que se emplean incluyen, entre otros, la Ley para la Conservación de los Bosques, Suelo y Agua (1984) y la Ley de Calidad del Agua (2005), conforme a la aprobación y puesta en vigor por el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Salud, respectivamente.

El principal extractor de agua es la Autoridad Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (NAWASA, por sus siglas en inglés). La Ley de NAWASA (1990) ha encomendado a este organismo legal, que depende del Ministerio de Comunicaciones, Obras, Desarrollo Físico, Servicios Públicos, TIC y Desarrollo Comunitario, el aprovisionamiento de suministros de agua y la conversión, aumento, distribución y uso adecuado de posibles recursos hídricos, incluida la preservación y la protección de zonas de captación. La NAWASA también se ocupa de manejar el alcantarillado y el tratamiento y eliminación adecuada de las aguas negras y otros afluentes. Este organismo es responsable de la administración y el abastecimiento de toda el agua potable para fines

domésticos y de garantizar el buen suministro de agua para fines agrícolas, comerciales e industriales. La Ley también autoriza a la NAWASA a llevar a cabo todas las adquisiciones para obras de agua y alcantarillado, la aplicación de tarifas, y la adquisición de instalaciones que se utilizan como fuentes de agua, así como su mantenimiento. Junto con el Ministerio de Agricultura, y conforme a la Ley de

Figura 2. Mapa que representa la cuenca de Granada y la principal infraestructura de agua

Conservación de Bosques, Suelo y Agua mencionada con anterioridad (1984), se recomienda hacer especial hincapié en la protección de la integridad de las zonas de captación de agua (Government of Grenada, 1990 & 2007a).

Aunque en la actualidad no se encuentra operando en su totalidad, la supervisión reglamentaria de la calidad del agua destinada al consumo humano que se realiza mediante muestreos y análisis regulares, se encuentra a cargo de una Junta Ministerial designada por el Ministerio de Salud como Autoridad Sanitaria en la Ley del Agua de 2005. La Junta determina la frecuencia con la que deben llevarse a cabo los muestreos y las pruebas, vigila que se advierta a los usuarios sobre una mala calidad del agua, de ser necesario, e implementa programas de acción para mejorar la calidad del agua. La Junta Ministerial opera por consenso de sus miembros (Government of Grenada, 2005).

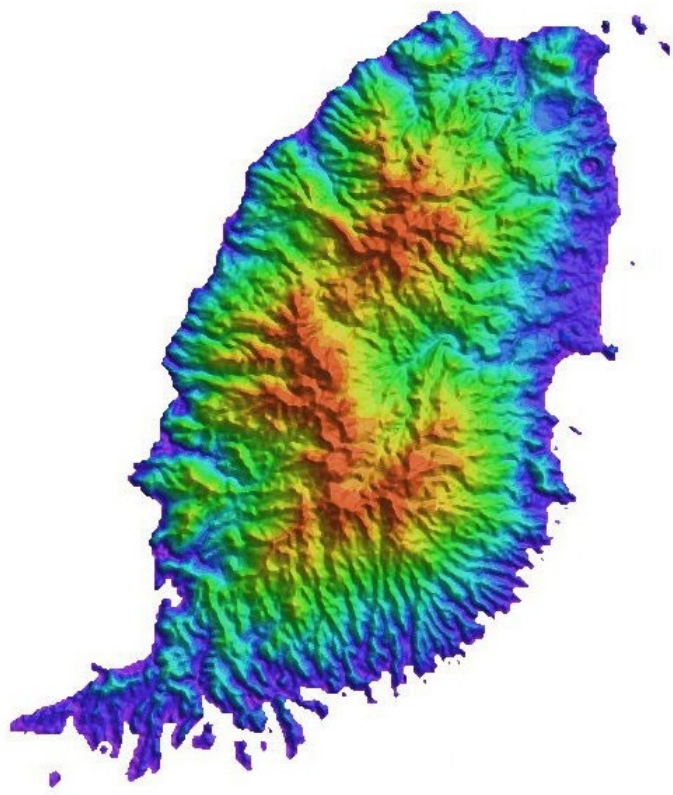
Actualmente, la NAWASA se encarga de estas actividades y presenta informes periódicos a la Junta Ministerial. Las muestras se toman de influentes y efluentes cuatro veces al mes, en promedio, en todas las plantas de tratamiento y puntos de acceso privados y públicos que se seleccionaron a lo largo de la red de distribución. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de rutina incluyen pH, turbidez, cloro libre y coliformes totales. De acuerdo con las normas de la OMS establecidas en la Ley de Calidad del Agua de 2005, se realizan muestreos periódicos en diversos puntos a lo largo de la red de distribución, así como análisis de otros constituyentes orgánicos e inorgánicos que incluyen, entre otros, nitratos, demanda biológica de oxígeno, residuos de cloro, conductividad, alcalinidad, sulfato, carbono orgánico, hierro y olor (ECLAC, 2007; Government of Grenada, 2005). Por ahora, estos análisis se realizan con poca frecuencia y/o después de un evento natural o antropogénico específico que pudiera haber afectado de manera negativa la calidad del agua. La principal razón de que las pruebas se realicen con poca frecuencia y sólo en respuesta a una posible contaminación, es la falta de suficientes recursos financieros. Todos los datos recopilados se almacenan en una base de datos interna, se informan semanalmente a la Autoridad Sanitaria y se ponen a disposición de las entidades locales, regionales e internacionales, previa solicitud y posterior aprobación de la Junta Ministerial.

3. Problemas que afectan la calidad del agua

3.1 Contaminación de fuentes naturales

Las fuentes de aguas superficiales representan 95% del agua que se distribuye a través de la red que gestiona la NAWASA (2018). La mayoría de las zonas de captación está ubicada cerca del centro de la isla en niveles más altos (**Figuras 2 y 3**) y, en general, se encuentra apartada de grandes asentamientos humanos. Las principales zonas de captación, como los alimentadores de las plantas de tratamiento de Annandale, Vendome y Petit Etang, se localizan en reservas forestales protegidas, lo que contribuye a garantizar que el agua que proviene de estas áreas, por lo general, no se vea afectada por la actividad antropogénica.

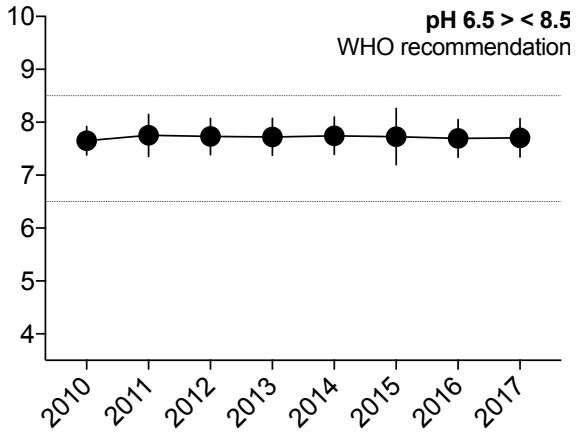
Figura 3. Mapa de topografía por radar de Grenada



Mayor elevación (naranja), puntos más bajos (azul oscuro).
Fuente: http: // caribbeanvolcanoes.com/radar- grenada/
Consultado en enero de 2018.

El monitoreo periódico de los parámetros básicos de calidad del agua confirma que la que produce Grenada cumple, en la mayoría de los casos, con los estándares establecidos por la OMS. El análisis de los datos del período 2010-2017 (**Figura 4**) evidencia valores de pH promedio con poca variación, entre 7.70 ± 0.36 y 7.75 ± 0.40. Estos valores, categorizados químicamente como neutros a ligeramente alcalinos, se encuentran dentro del rango de pH de la Guía de la OMS de 6.5 y 8.5, y son típicos de los sistemas lóticos inalterados de flujo rápido (Dirisu *et al.,* 2018; WHO, 2017a).

Figura 4. Valores medios de pH y desviación estándar en comparación con los valores de referencia de la OMS (2010-2017)



También se efectúa una estrecha vigilancia de la actividad microbiológica a partir de datos recopilados que revelan la ausencia de *Escherichia coli* en cerca de 98% de las muestras analizadas, pero de todas éstas, el total de coliformes se encontró en 88% en 2010 y en 94% en 2017 (**Figuras 5 y 6**). Sin embargo, dado que el total óptimo de coliformes es un indicador de la actividad microbiológica patógena y que éstos deberían estar ausentes en 100% de las muestras, los resultados indican que existe un problema que requiere solución para garantizar una desinfección eficaz. El nivel de actividad microbiológica depende en gran medida del tipo y eficacia del proceso de desinfección que se utilice, el cual se ve afectado, a su vez, por las características físicas específicas del agua, como la turbidez y los solutos que requieren cloro. En la isla se utiliza la desinfección química en forma de cloración. Las normas de la OMS establecen que el cloro libre debe permanecer por encima de un valor umbral de 0.2 mg L^{-1} en todo el sistema de distribución, de manera óptima ≥ 0.5 mg L^{-1}, después de por lo menos 30 minutos de contacto a un pH <8.0 (OMS, 2017a). La **Figura 7** confirma que las muestras tomadas en la red de distribución, en general, contenían valores de cloro libre por encima de los valores de referencia, pero con una desviación significativa de la media, lo que podría explicar en parte los problemas mencionados con anterioridad que requieren solución para garantizar una desinfección eficaz.

Figura 5. Porcentaje medio de muestras con ausencia de coliformes totales (2010 - 2017)

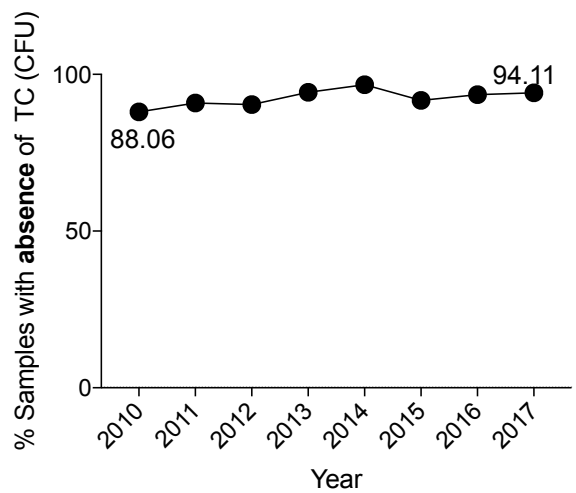
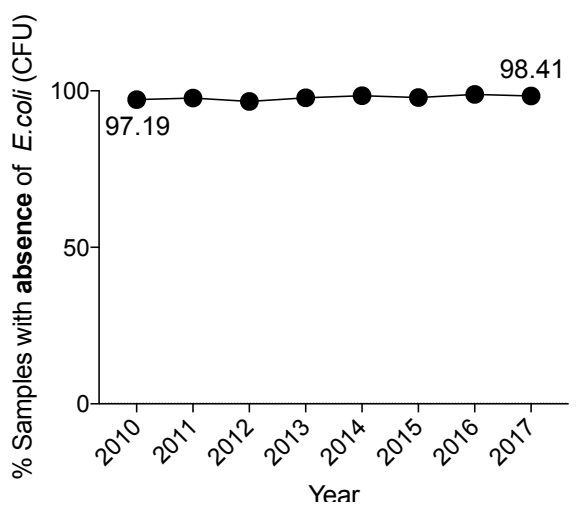


Figura 6. Porcentaje medio de muestras con ausencia de *Escherichia coli* (2010 - 2017)



Aunque el cloro libre generalmente es un buen indicador de la eficacia de la desinfección, la aplicabilidad de su interpretación puede verse afectada por las propiedades físicas del agua, como la turbidez y los solutos que requieren cloro (OMS, 2017b). En promedio, los niveles de turbidez (**Figura 8**) en el sistema de distribución se han mantenido por encima del nivel recomendado por la OMS, de 1 Unidad de Turbidez Nefelométrica (NTU, por sus siglas en inglés), lo que afecta de manera adversa la eficacia de la desinfección química (OMS, 2017a). Los datos recopilados mostraron valores medios entre 1.9 y 5.6 Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU) entre 2010 y 2017, con una variación significativa y valores individuales muy elevados de 190 NTU. Estos resultados plantean serios problemas que hay que resolver en cuanto a la reducción de la turbidez. Se ha relacionado la fuente principal de la elevada turbidez en el agua no tratada y tratada en el sistema de distribución, con la presencia de sedimentos y materia orgánica, y se observa que esto empeora generalmente durante las fuertes precipitaciones y la erosión del suelo en la estación húmeda.

El impacto de los altos niveles de turbidez en la calidad del agua es normalmente menor si se produce debido a la contaminación natural, y no por contaminación antropogénica. De todas maneras, la constante imposibilidad para cumplir con los valores de referencia indica la posible presencia de patógenos, biopelículas separadas y escamas de material de distribución oxidado o de fuentes externas de contaminación (OMS, 2017b). Las soluciones que se proponen para este problema actualmente giran en torno al uso de sistemas de filtración mejorados junto con un mayor uso de agentes coagulantes, como el sulfato de aluminio, y desinfectantes químicos, como el cloro.

No obstante, estas soluciones no sólo implican factores de tipo económico, sino muy posiblemente también graves consecuencias para la salud de la población y la salud ambiental. Las elevadas concentraciones de sulfatos pueden dar lugar a reacciones secundarias que generan soluciones potencialmente corrosivas que, a su vez, ponen en riesgo la integridad de las estructuras metálicas de la red de distribución (Knowles *et al.,* 2015). Además, se ha relacionado la exposición a altas concentraciones de aluminio (Al) con la neurotoxicidad (Hsu *et al.,* 2018; Klotz *et al.,* 2017). Según datos disponibles y el "principio de cautela", algunos organismos reguladores internacionales, incluidas la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EUA y la Agencia Europea de Medio Ambiente, han establecido 0.2 mg L^{-1} como el nivel máximo de concentración de Al en agua potable (EC, 2009; USEPA, 2010). Si bien la OMS no establece un valor de referencia basado en la salud, sí recomienda que los niveles de Al estén por debajo de 0.2 mg L^{-1} (OMS, 2017a). Aunque el Al residual no se monitorea periódicamente en el sis-

Figura 7. Valores medios de cloro libre (Cl-) y desviación estándar en comparación con el valor de referencia de la OMS (2010 - 2017)

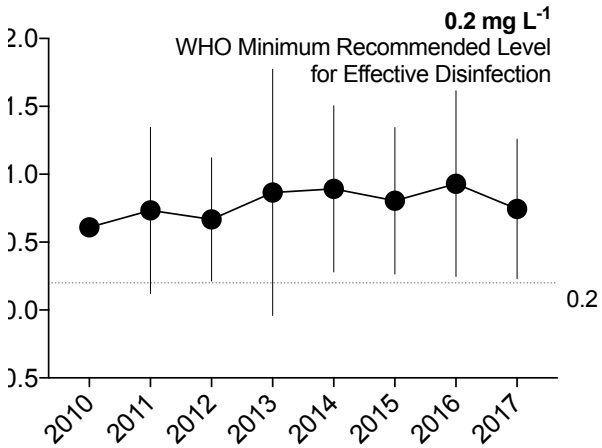
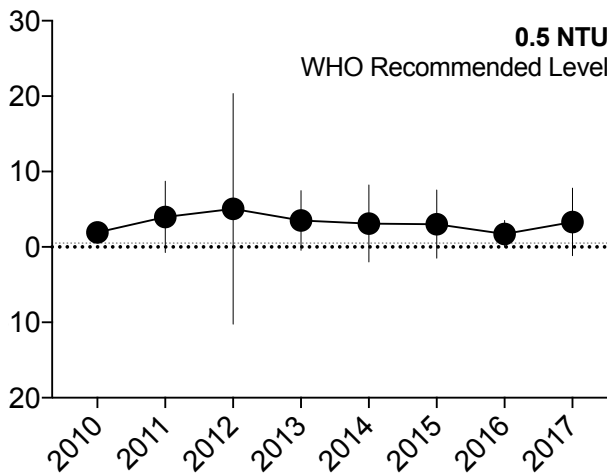


Figura 8. Valores medios de turbidez (NTU) y desviación estándar en comparación con el valor de referencia recomendado por la OMS (2010 - 2017)



tema de distribución de agua de Grenada, los datos recolectados de las muestras mostraron que 6% de todas éstas excedieron el valor de referencia. Se observaron concentraciones altas de Al principalmente en el agua de las plantas de tratamiento que manejan aguas muy turbias debido al escurrimiento superficial de los suelos con alto contenido de limo, lo que pone de manifiesto la compleja dinámica de los parámetros de calidad del agua.

El uso generalizado de cloro como desinfectante puede dar lugar a la formación de subproductos no deseados de la desinfección (DBP), incluidos los trihalometanos (THM, por sus siglas en inglés), ya que los resultados de estudios sobre estos últimos se han asociado con una gran cantidad de efectos adversos para la salud, como la toxicidad reproductiva y la carcinogénesis (Iszatt *et al.,* 2014; Li & Mitch, 2018; Rahman *et al.,* 2014). La formación de trihalometanos es resultado de reacciones químicas entre los halógenos que se utilizan en la desinfección (generalmente cloro) y la materia orgánica que se encuentra en agua no tratada (Xie, 2004). En aguas desinfectadas con cloro, el cloroformo suele ser el trihalometano más común encontrado. En cambio, el bromo, un halógeno fisicoquímicamente similar, es de naturaleza bastante ubicua. Por lo general, se encuentra en las sales de bromuro junto con otras sales comunes, en particular, el cloruro de sodio. Cuando está presente, el bromo no sólo reacciona con mayor rapidez con la materia orgánica que los THM bromados formadores de cloro, sino que también genera un efecto tóxico aditivo con los trihalometanos clorados.

Los THM no se monitorean periódicamente en Grenada, Carriacou y Petite Martinique. Debido a la enorme posibilidad de que las aguas subterráneas de la región sur de Grenada y el agua desalinizada que se distribuye en las islas de Carriacou y Petite Martinique contengan altas concentraciones de bromuro y sales de cloruro, se recomienda un monitoreo periódico de los trihalometanos. Durante 2017, se analizaron 28 muestras de cloroformo. De éstas, se confirmó la presencia de cloroformo en 18, con concentraciones que oscilaban entre 8 y 111 µg L^{-1}, muy por debajo del valor de referencia de la OMS de 300 µg L^{-1}. Sin embargo, la OMS también recomienda un monitoreo constante de los otros tres trihalometanos bromados que suelen encontrarse: bromoformo, bromodiclorometano, dibromoclorometano (OMS, 2017a). Estos datos pueden utilizarse para establecer un estándar de trihalometanos total que se calcule con la suma de las relaciones de cada concentración de THM y sus respectivos valores de referencia, teniendo en cuenta el efecto tóxico aditivo. Aunque actualmente no existe suficiente capacidad para cuantificar estos trihalometanos periódicamente, es crucial conseguir los recursos para realizar esta tarea, ya que el constante aumento de la explotación del agua subterránea y marina aumenta ya de por sí el grado de exposición al riesgo de trihalometanos.

3.2 Contaminación de fuentes antropogénicas

Debido a la ubicación de las fuentes de aguas superficiales, la distribución de agua para las zonas de captación asociadas no se ha visto mayormente afectada por la contaminación antropogénica. La actividad agrícola es la que representa la mayor amenaza para la calidad del agua, ya que la actividad industrial en las zonas de captación de Grenada continúa siendo mínima. Se han realizado análisis de laboratorio en muestras los últimos siete años, aunque en número reducido, para determinar la presencia y concentración de tres sustancias químicas de importancia para la salud del agua potable asociada con la contaminación antropogénica (OMS, 2017a). En todos los casos, se comprobó que el cobre (Cu), los nitratos (NO_3-) y los nitritos (NO_2), que normalmente se asocian con agroquímicos, se encuentran por debajo de los valores de referencia de la OMS de 2 mg L^{-1}, 50 mg L^{-1} y 3 mg L^{-1}, respectivamente. Los valores tomaron como base los efectos a corto y largo plazos de la exposición a estos productos químicos (OMS, 2017a).

En algunas áreas no protegidas por la Ley de Conservación de Suelos y Aguas Forestales (1984), se puede observar una creciente presencia de actividades agrícolas a pequeña escala, principalmente en las zonas de captación de los distritos de San Juan y el norte de San Andrés. Se sabe que los agricultores en estas áreas usan de forma indiscriminada fertilizantes químicos y técnicas de manejo de plagas que afectan la calidad del agua. Estas zonas de captación, sin embargo, se benefician de un sistema de amortiguación natural conformado por gradientes empinados y un alto volumen de agua que contribuye a la dilución, así como cortos tiempos de

residencia de contaminantes potenciales. A pesar de todo, con el aumento de las actividades agrícolas en estas áreas, este sistema de amortiguación natural podría verse rebasado, por lo que es necesario realizar monitoreos frecuentes y periódicos.

Las fuentes de aguas subterráneas en la isla de Grenada actualmente suministran 5% del total del agua potable que se distribuye, y su mayor uso es en las zonas meridionales de la isla. Con todo, estas fuentes de aguas subterráneas enfrentan desafíos muy singulares, en comparación con las fuentes de aguas superficiales. Aunque la Ley de Conservación de Bosques, Suelo y Agua (1984) protege de por sí algunas de las cuencas hidrográficas que abastecen a las fuentes subterráneas, la falta de normas de zonificación limita la protección otorgada por la ley. En épocas recientes, se ha observado una extensa actividad antropogénica en las zonas de captación de la región sur de la isla, entre ellas, los asentamientos habitacionales, la actividad industrial y la agricultura a gran escala. A los principales interesados les preocupa especialmente la posible presencia de químicos asociados con los fertilizantes y pesticidas que utilizan las granjas. Además, el hecho de que los asentamientos habitacionales no manejen los desechos de forma adecuada, o que sus sistemas sépticos no funcionen bien, aumenta el riesgo de materia orgánica y contaminación microbiológica de las aguas subterráneas. Aunque los suelos depuran la mayoría de los contaminantes orgánicos de forma natural (Vangronsveld *et al.*, 2009), la mayoría de los pozos en Grenada son poco profundos, siendo su profundidad máxima de sólo 150 pies y, así, el tiempo de residencia del lixiviado en el suelo disminuye, lo que reduce la capacidad de amortiguación.

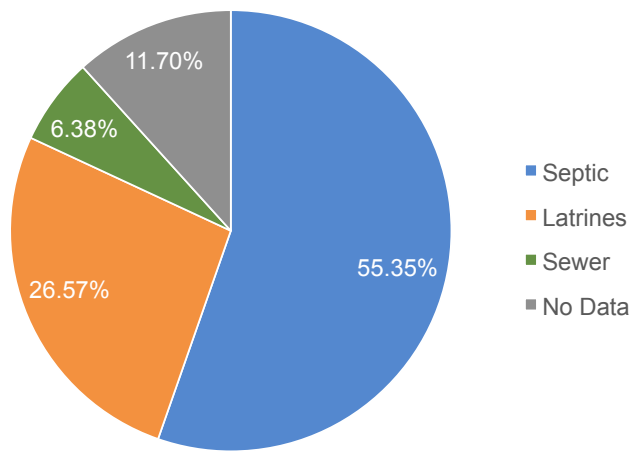
De los 94 productos químicos que la OMS declaró de importancia para la salud en el agua potable, los recursos legales, técnicos y económicos sólo permiten el análisis esporádico de cinco (NO_2^-, NO_3^-, Cl^-, Cu y $CHCl_3$). Cabe destacar que la lista no incluye los trihalometanos bromados antes mencionados, los metales tóxicos y los compuestos orgánicos persistentes, incluidos muchos pesticidas que se utilizan actualmente y que son propios de gran parte de las actividades agrícolas en varias zonas de captación de agua. Los resultados muestran que se está cumpliendo con los valores de referencia de la OMS en cuanto a los productos químicos probados; con todo, la poca frecuencia de muestreo delimita la relevancia de estos resultados.

Una mejor supervisión de la NAWASA, conforme a las disposiciones en la Ley de Calidad del Agua (2005) del Ministerio de Salud, requiere que la Autoridad Sanitaria sea completamente funcional para que pueda monitorear y analizar mejor la calidad del agua producida por la NAWASA. Este organismo regulador también podría autorizar que se incremente la frecuencia con la que se realiza el muestreo para garantizar una producción constante de agua de calidad. Además, se necesitan políticas de zonificación adecuadas en las zonas de captación que actualmente no están protegidas como reservas, para prevenir la contaminación antropogénica.

3.3 Gestión de aguas residuales

Según los datos recopilados en 2015 por un Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua (2017), 89.3% de la población en Grenada, Carriacou y Petite Martinique cuenta con servicios básicos de saneamiento, que incluyen sistemas de fosas sépticas, letrinas de pozo y alcantarillado público (**Figura 9**). Esto es ligeramente superior al acceso promedio de 85% en la región de América Latina y el Caribe: 55.35% de la población

Figura 9. Cobertura poblacional de servicios de saneamiento en función del tipo de instalación



Fuente: (OMS/UNICEF, 2017)

utiliza sistemas sépticos, mientras que 26.57% aún utiliza letrinas de pozo como su principal medio de eliminación de desechos humanos. Las aguas subterráneas pueden contaminarse por el mal funcionamiento de los sistemas sépticos cerca de las zonas de captación, en especial, en la parte sur de la isla. El constante aumento demográfico en esta parte de la isla ha llevado a la NAWASA a realizar muestreos preliminares y análisis de laboratorio para cuantificar este riesgo. Los resultados preliminares indican que la calidad de las fuentes de aguas subterráneas, hasta el momento, no se ha visto afectada por el creciente número de sistemas sépticos deficientes.

Por último, aproximadamente 6% de la población accede a los servicios de saneamiento facilitados por dos sistemas de alcantarillado: el Sistema de Alcantarillado St. George's/Carenage/Lagoon Road, que presta servicio al centro de la ciudad y áreas aledañas, y el sistema de alcantarillado de Grand Anse, que satisface las necesidades de la zona sur de South George, incluyendo a casi todos los hoteles que se ubican en esta parte de la isla. Estos dos sistemas recolectan las aguas residuales de usuarios domésticos y comerciales, luego se filtran (> 6 mm) para eliminar sólidos grandes, trapos y escombros, para luego verterlas al mar a través de desembocaderos que se extienden a lo largo de 350 m, a una profundidad aproximada de 25 m (CDB, 2016). Actualmente, no se están llevado a cabo tratamientos secundarios, pero se prevé que se contará con la capacidad para ello a corto plazo.

Varios programas de rehabilitación y mejora han sugerido el desarrollo de más sistemas de alcantarillado para el área de Greater St. George y Grenville (CDB, 2016). También se ha considerado ampliar el sistema de la zona sur de St. George, y se está evaluando esta posibilidad. La ampliación y los servicios de apoyo se dirigirán específicamente a las áreas cercanas a True Blue, St. George, una zona cerca de la Universidad de St. George que está creciendo de forma considerable. Aunque se han reportado fugas en el sistema de tuberías del desembocadero de la zona sur de St. George, no se han publicado los análisis cuantitativos sobre la calidad del agua en esta zona potencialmente afectada. Por lo tanto, existe el riesgo de una degradación ambiental grave, por lo que se recomienda la supervisión y evaluación periódicas de las posibles medidas correctivas. Las acciones correctivas que se están analizando actualmente incluyen la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante procesos de tratamiento secundario (biológico) para dar servicio a la zona sur de St. George. Se eligió esta zona debido al acelerado ritmo del desarrollo urbano y el impacto negativo directo que la degradación del ecosistema marino podría tener en el sector turístico.

4. Aspectos socioeconómicos

Los servicios de distribución de agua potable y alcantarillado facilitados por la NAWASA procurarán ser económicamente viables a través de una estructura arancelaria, aunque todavía no se cuenta con los mecanismos que garanticen la recuperación total de los costos operativos. La falta de viabilidad económica es un riesgo directamente relacionado con la capacidad de la NAWASA de proporcionar estos importantes servicios a la población.

El acceso a agua limpia es indispensable para el desarrollo socioeconómico. Por ser un servicio socialmente indispensable, la buena gestión de la calidad del agua debe contar con la participación de la comunidad. No obstante, hasta el momento, son pocas las iniciativas que se han llevado a cabo con el fin específico de concientizar a la población sobre la importancia de la calidad del agua. La NAWASA ha hecho lo posible por concientizar a la población sobre la importancia del agua como recurso a través de presentaciones informativas en la radio, la televisión y las redes sociales. Sin embargo, el efecto de estas presentaciones se ha tomado como observaciones informales, en el mejor de los casos, ya que las mejoras cuantitativas en el uso y la conservación se atribuyen principalmente a la introducción de tarifas y a un programa de medidores (ECLAC, 2007). Estos programas han mejorado la eficiencia del uso del agua y han cambiado la forma de pensar respecto al agua como un derecho, para verla como un valioso recurso.

La estructura administrativa actual de la NAWASA cuenta con aproximadamente 43,031 cuentas y una cobertura de servicio de aproximadamente 90% que hace posible el acceso a agua potable

a 97% de la población. Grenada es uno de los 100 países de una lista de países categorizados por tener "fuentes de agua mejoradas" según el Objetivo 7C de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (CDB, 2016; World Bank, 2017). Está clasificada por las Naciones Unidas como un pequeño Estado insular en desarrollo en términos de desarrollo económico, y por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, como un país con un alto desarrollo humano y un índice de tendencia positiva de 0.754 (UN, 2014; UNDP, 2010). Estas clasificaciones indican que ha logrado un progreso satisfactorio para mejorar la expectativa de vida, la educación y la riqueza de la población. Sin embargo, el PNUD también considera otros indicadores, como la desigualdad, que se utilizan para ajustar el Índice de Desarrollo Humano (IDH) con el fin de contar con una mejor aproximación del estado socioeconómico de la población. No existe esta información para Grenada, ni los datos necesarios para calcular el Índice de Desarrollo de Género (IDG) y el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM).

Se ha analizado a detalle la relación entre estos indicadores y la seguridad general del agua. Los hombres y las mujeres se sitúan generalmente en posiciones diferenciadas en su capacidad para abordar cuestiones relacionadas con la seguridad del agua, debido a costumbres patriarcales, injusticias y desigualdad (Myrttinen *et al.*, 2018). Esto también juega un importante papel en las posturas imperantes en cuanto a calidad del agua Por otro lado, el Índice de Pobreza Multidimensional que se utiliza en la actualidad para medir la pobreza con mayor precisión, incluye un elemento de "calidad de vida" bajo el que el acceso al agua potable segura es un indicador explícito. Esta relación entre pobreza/acceso al agua en Grenada se destaca en un estudio realizado por Neff (2013) como se puede ver en Forde & Neff (2015), en el que la capacidad de resistir de los residentes a cuestiones relacionadas con la seguridad del agua –entre ellas, un suministro intermitente y una mala calidad– depende en gran medida de su nivel económico. Es necesario continuar realizando investigaciones, ya que los datos recopilados garantizarían la capacidad de calcular estos índices, y las partes interesadas estarían en mejores condiciones para poder identificar y mitigar las carencias derivadas de problemas específicos del sistema, asignando recursos de manera más útil que garanticen la equidad social y la sustentabilidad económica de la distribución del agua (UNDP, 2016).

La sustentabilidad económica y la equidad social en el contexto del agua como recurso se consideran pilares de la gestión integrada de los recursos hídricos (Lenton & Muller, 2012). Aunque es inherente al objetivo de la Ley NAWASA (1990), el enfoque en la gestión de los recursos hídricos comenzó en 2006 con un Grupo de Trabajo que se reunió en Jamaica (Gobierno de Grenada, 2007b), dando origen a algunos conceptos, entre los que se incluye un Plan General para la Planificación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Grenada y un Proyecto de Política Nacional del Agua. Sin embargo, la falta de financiamiento adecuado y de la continuidad del Gobierno y un deficiente marco institucional, han sido obstáculos para su implementación. Todavía no se han llevado a cabo muchas de las principales actividades de la gestión integrada de los recursos hídricos, especialmente el desarrollo de políticas, leyes y normas específicas, una mejor evaluación de los recursos hídricos y el desarrollo de capacidades para implementar todo lo anterior.

Estas deficiencias generales en el monitoreo de la calidad del agua, la eficiencia en el uso del agua y la gestión general de los recursos hídricos, colocan a Grenada en la singular posición de haber cumplido el Objetivo 7C de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (Banco Mundial, 2017), pero plantean un problema para poder alcanzar las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6: Agua limpia y saneamiento, especialmente la implementación de una gestión integrada de los recursos hídricos (UN, 2015). Aunque algunos de los preceptos del objetivo cumplido de los Objetivos de Desarrollo del Milenio se aplican en parte a algunas de las metas establecidas en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, continúa siendo necesario realizar mejoras importantes en todos los ámbitos. Sin embargo, la implementación de las políticas y la legislación existentes, incluyendo la Política Nacional del Agua y todas las disposiciones de la Ley de Calidad del Agua (2005), sería de gran ayuda para que Grenada logre alcanzar esos objetivos.

5. Conclusiones y recomendaciones

Considerado un país con un enorme desarrollo humano, y habiendo cumplido con el Objetivo de Desarrollo del Milenio 7, Grenada va por buen camino para que toda su población cuente con agua limpia. Con el paso del tiempo, la gestión del agua ha experimentado importantes mejoras que han tenido muchos impactos positivos en el bienestar de los consumidores. Las 35 instalaciones de suministro de agua abastecen agua potable limpia a 97% de la población.

Si bien se han logrado avances significativos en las tecnologías de filtración y desinfección, es necesario efectuar mejoras en el programa de muestreo y análisis de agua. Actualmente, 89 de los 94 productos químicos de importancia para la salud identificados por la OMS no se supervisan, y esto es una discrepancia considerable en los datos que se requieren para garantizar que el agua suministrada a la población sea realmente segura de usar y consumir. Esta falta de supervisión y capacidad de diagnóstico es común en muchos de los pequeños estados insulares en desarrollo de esta región del mundo, y pone de manifiesto la importancia de una colaboración regional, y el aprovechamiento de los recursos para una mejor gestión de los recursos hídricos en toda la región.

Es necesario centrar la atención en la aprobación, implementación y cumplimiento de la legislación local relacionada con la gestión del agua. Las normas establecidas por zonas, y aplicadas de forma correcta, contribuirán en gran medida a reducir los impactos adversos de la contaminación de las fuentes de agua superficiales y subterráneas. En los últimos años, se han realizado importantes mejoras en el marco legislativo que han dado como resultado una mejor gestión de los recursos hídricos. La Ley de Calidad del Agua de 2005, en particular, ha exigido la formación de una Autoridad Sanitaria multisectorial que se encargue de supervisar la calidad del agua destinada a consumo humano. Sin embargo, las dificultades económicas no han hecho posible que la Junta pueda ser totalmente operativa. En 2007 se redactó una Política Nacional del Agua, que estableció un plan general integral para la mejor gestión del agua; sin embargo, las dificultades económicas nuevamente demostraron ser un factor limitante. Así, pues, estos marcos legislativos podrían dar origen a una base sólida para garantizar una gestión adecuada del agua, pero la evidente falta de implementación los hace ineficaces.

En definitiva, se recomienda un enfoque más coordinado para el mantenimiento, la rehabilitación y la mejora de los sistemas actuales de distribución de agua y los sistemas de eliminación de aguas residuales, lo que incluye la construcción de nuevas plantas de tratamiento de estas últimas, a fin de garantizar la integridad permanente de los ecosistemas de tierra y agua de este Estado compuesto por las tres islas de Grenada, Carriacou y Petite Martinique.

6. Bibliografía

Allen, C.D., Diller, S.L., Zabarauskas, T. (2014). Grenada: the Spice Isle, in: Allen, C.D. (Ed.), *Landscapes and Landforms of the Lesser Antilles.* Salt Lake City: Springer International Publishing AG, pp. 243–265. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8628-7

AQUASTAT (2014). *Country Overview: Grenada.*

Brink, K.H., Robinson, A.R. (2005). *The Global Coastal Ocean: Regional Studies and Syntheses.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

CDB (2016). *Water Supply Expanision and Sewerage Improvement Project - Grenada.* Wildey, St. Michael: Caribbean Development Bank.

Dirisu, A., Olomukoro, J., Thadeus Imoobe, T. (2018). Limnochemical Characterization of Lotic and Lentic Ecosystems in Agbede Wetlands. *Turkish J. Fish. Aquat.* Sci. 18, 585 595. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18

EC (2009). ANNEX 3 to the Commission Staff Working Document accompanying the Report from the Commission in accordance with Article 3.7 of the Groundwater Directive 2006/118/EC on the establishment of groundwater threshold values Information on the Groundwater Thresh. Brussels, European Union. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

ECLAC (2007). *Overview of the water profile and the capcity of national institutions to implement integrated water resources management: Antigua and Barbuda, Dominica, Grenada.* Port of Spain: ECLAC.

FAO (1998). *Forestry Policies in the Caribbean: Reports of 28 selected countries and territories.* Food and Agriculture Organization of the United Nations; European Commission. Directorate-General for Development.

Forde, M., Neff, B. (2015). Impact of development on water supply and treatment in Grenada, in: Vammen, K., de la Cruz Molina, A. (Eds.), *Challenges of Urban Waters in the Americans. A Vision From the Academies of Sciences.* Cuernavaca, Mexico: IANAS The Inter-American Network of Academies of Sciences, pp. 2–25.

Government of Grenada (1984). *Forest Soil and Water Conservation Act.* CAP. 116. Grenada.

Government of Grenada (1990). *National Water and Sewerage Authority Act.* CAP. 208. Grenada.

Government of Grenada (2001a). *National Report: Integrating Management of Watersheds and Coastal Areas.* St. George's.

Government of Grenada (2001b). *Waste Management Act.* CAP. 334A.

Government of Grenada (2005). *Water Quality Act.* CAP. 334B. Grenada.

Grenada.Government of Grenada (2007a). *Draft National Water Policy.*

Government of Grenada (2007b). *Road Map Toward Integrated Water Resources Management Planning for Grenada.*

Hsu, H.-W., Bondy, S.C., Kitazawa, M. (2018). Environmental and dietary exposure to copper and its cellular mechanisms linking to Alzheimer disease. *Toxicol. Sci.* https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy025

Iszatt, N., Nieuwenhuijsen, M.J., Bennett, J.E., Toledano, M.B. (2014). Trihalomethanes in public drinking water and stillbirth and low birth weight rates: an intervention study. *Environ. Int.* 73, 434–439. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.08.006

Kingdom, B., Liemberger, R., Marin, P. (2006). *The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries - how the private sector can help : a look at performance-based service contracting.* Washington, D.C.: Water Supply and Sanitation Sector Board Disucssion Paper Series.

Klotz, K., Weistenhöfer, W., Neff, F., Hartwig, A., van Thriel, C., Drexler, H. (2017). The Health Effects of Aluminum Exposure. *Dtsch. Arztebl. Int.* 114, 653–659. https://doi.org/10.3238/arztebl.2017.0653

Knowles, A.D., Nguyen, C.K., Edwards, M.A., Stoddart, A., McIlwain, B., Gagnon, G.A. (2015). Role of iron and aluminum coagulant metal residuals and lead release from drinking water pipe materials. *J. Environ. Sci. Heal.* Part A 50, 414–423. https://doi.org/10.1080/10934529.2015.987550

Lenton, R., Muller, M. (2012). *Integrated Water Resources Management in Practice : Better Water Management for Development.* Taylor and Francis.

Li, X.-F., Mitch, W.A. (2018). Drinking Water Disinfection Byproducts (DBPs) and Human Health Effects: Multidisciplinary Challenges and Opportunities. *Environ. Sci. Technol.* acs.est.7b05440. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05440

McSweeney, C., New, M., Lizcano, G. (2006). *Grenada*. UNDP Clim. Chang. Ctry. Profiles.

Myrttinen, H., Cremades, R., Fröhlich, C., Gioli, G. (2018). Bridging Troubled Waters: Water Security Across the Gender Divide, in: Fröhlich, C. (Ed.), *Water Security Across the Gender Divide.* Springer International Publishing AG, pp. 3–14. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64046-4_1

NAWASA (2018). *Water Treatment Process.* Ministry of Communications, Works, Physical Development, Public Utilities, ICT & Community Development, St. George's.

Rahman, M.B., Cowie, C., Driscoll, T., Summerhayes, R.J., Armstrong, B.K., Clements, M.S. (2014). Colon and rectal cancer incidence and water trihalomethane concentrations in New South Wales, Australia. *PMC Cancer* 14, 445. https://doi.org/10.1186/1471-2407-14-445

UN (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.* New York. https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2

UN (2014). *World Economic Situation and Prospects 2014.* United Nations Publications, New York.

UNDP (2016). *Human Development Report 2016.* United Nations Development Programme. New York. https://doi.org/eISBN: 978-92-1-060036-1

UNDP (2010). *Human Development Report 2010. The Real Wealth of Nations: Pathways to Human Development.* United Nations Development Programme, New York. https://doi.org/10.2307/2137795

USEPA (2010). *National Primary Drinking Water Regulations.* Washington, D.C.

Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilev, A., Meers, E., Nehnevajova, E., van der Lelie, D., Mench, M. (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: Lessons from the field. Environ. *Sci. Pollut. Res.* 16, 765–794. https://doi.org/10.1007/s11356-009-0213-6

WHO (2017a). *Guidelines for Drinking-Water Quality: fourth edition incorporating the first addendum.* Geneva.

WHO (2017b). *Water Quality and Health - Review of Turbidity: Information for regulators and water suppliers.* Geneva.

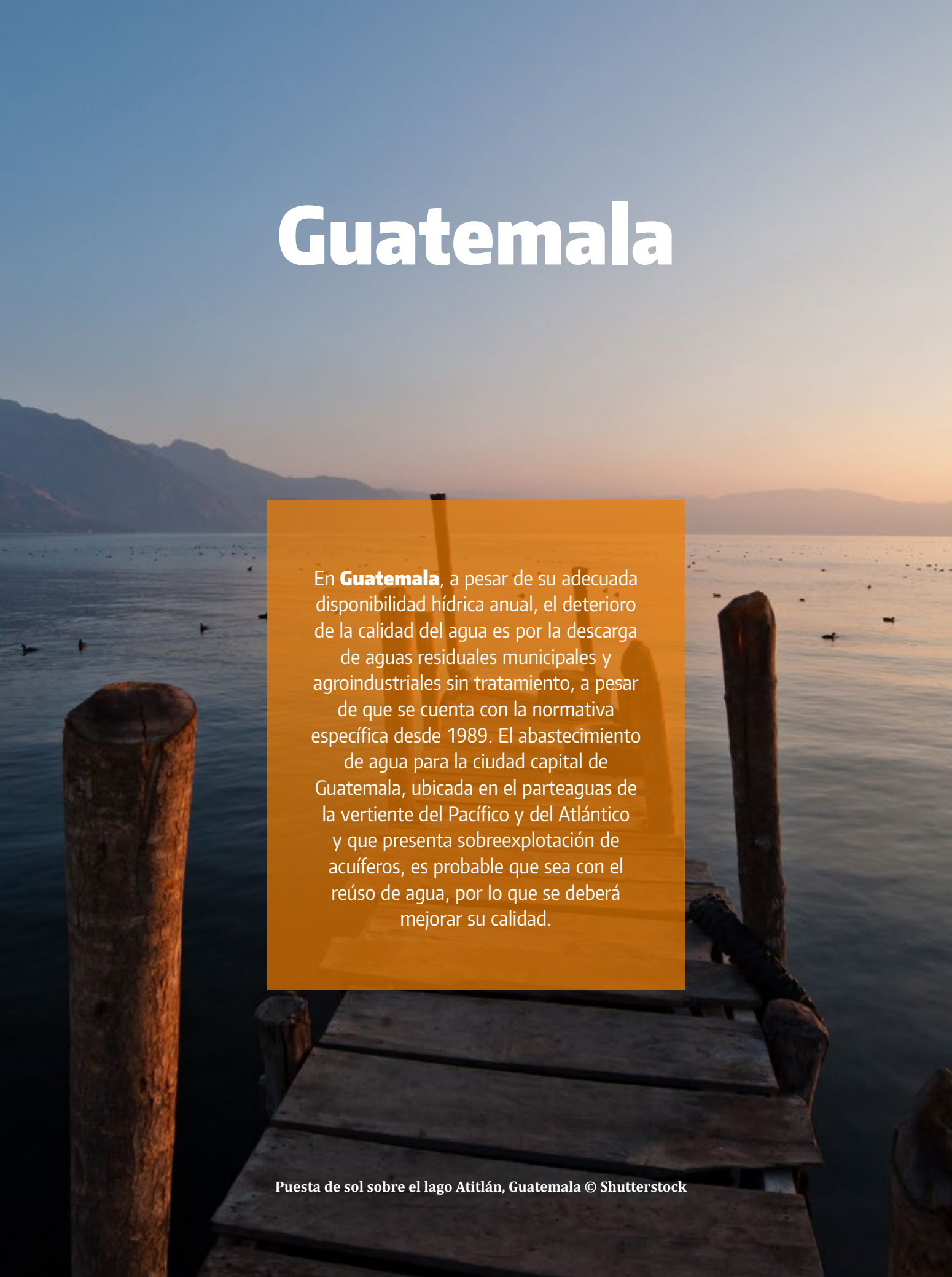
WHO/UNICEF (2017). *Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene. Estimates on the use of water, sanitation and hygiene in Grenada.* New York.

World Bank (2017). *Improved water source (% of population with access).* Washington, D.C.: WHO/UNICEF.

Xie, Y.F. (2004). *Disinfection byproducts in drinking water: formation, analysis, and control.* Boca Raton: Lewis Publishers.

Guatemala

En **Guatemala**, a pesar de su adecuada disponibilidad hídrica anual, el deterioro de la calidad del agua es por la descarga de aguas residuales municipales y agroindustriales sin tratamiento, a pesar de que se cuenta con la normativa específica desde 1989. El abastecimiento de agua para la ciudad capital de Guatemala, ubicada en el parteaguas de la vertiente del Pacífico y del Atlántico y que presenta sobreexplotación de acuíferos, es probable que sea con el reúso de agua, por lo que se deberá mejorar su calidad.



Puesta de sol sobre el lago Atitlán, Guatemala © Shutterstock

Calidad del agua en Guatemala[1]

Manuel Basterrechea, Margaret Dix, Sharon van Tuylen,
Ángela Méndez, Ligia Díaz, Pablo Mayorga y Norma Gil

Resumen

En el país, el deterioro de la calidad del agua ya es un problema grande a pesar de que se cuenta con la normativa específica desde 1989, que exige el cumplimiento de cierta calidad del efluente que se descarga a los cuerpos de agua. No se cuenta con la voluntad política y fortaleza institucional para ejercer el cumplimiento de la reglamentación, y resolverlo ahora requerirá de fuertes inversiones financieras. Los efectos en la salud pública, en los ecosistemas acuáticos y en las actividades económicas del país son evidentes.

1. Introducción

Guatemala se ubica en el extremo norte del istmo centroamericano limitado por México, Belice, Honduras y El Salvador (Figura 1). Tiene una superficie de 108,889 km^2 y una disponibilidad hídrica promedio anual de 97,200 millones de m^3 (MARN, 2015). El país tiene una topografía muy accidentada con elevaciones desde el nivel del mar hasta 4,200 metros, lo que permite contar con seis regiones climáticas, tres vertientes (Pacifico, Mar Caribe y Golfo de México), 38 cuencas, 138 cuerpos de agua y 34 volcanes (ver **Figura 1**).

La población al 30 de junio de 2014 ascendía a 15.6 millones de personas, cuyo 50% está comprendido en un rango etario menor de 25 años (INE, 2016). Posee una sociedad pluricultural, pluriétnica (conformada por cuatro grupos: mayas, xinca, garífuna y ladina), y multilingüe (integrada por 23 comunidades lingüísticas); en 2014, 38.8% de la población se identifica como indígena, cuatro de las comunidades representan 80% del total y 23.7% es monolingüe en idioma maya (INE, 2016).

1. El informe de calidad del agua en Guatemala fue presentado a miembros de AGUALIMNO e invitados el 6 de noviembre de 2017, en el auditorio de la Asociación Guatemalteca de Ingeniera Sanitaria y Ambiental (AGISA).

Manuel Basterrechea. asebaste@gmail.com Miembro de la Academia de Ciencias de Guatemala. **Margaret Dix, Sharon van Tuylen, Ángela Méndez, Ligia Díaz, Pablo Mayorga y Norma Gil.** Todos ellos, miembros de la Asociación Guatemalteca de Limnología y Gestión de Lagos de Guatemala (AGUALIMNO). limnologiaguate@gmail.com

Guatemala es la economía más grande de Centroamérica, pero es uno de los países de Latinoamérica con mayor desigualdad social, con altos niveles de pobreza, particularmente en zonas rurales y entre poblaciones indígenas. Según ENCOVI 2014, el porcentaje de pobreza total en Guatemala era de 59.3%, con 23.4% de pobreza extrema (INE 2016).

1.1 Contexto

El país cuenta con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente desde 1986 (Ley 68-86) y el Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo 236-2006) para prevenir el deterioro de la calidad del agua por descargas de aguas residuales municipales, urbanas y agroindustriales. El Acuerdo de 2006 derogó dos reglamentos anteriores de 1989 y 2005. Es decir, el país cuenta desde hace casi treinta años con regulaciones para prevenir, controlar y proteger la calidad del agua.

Sin embargo, según Siguí (2016), el reglamento de 2006 tiene varias deficiencias, su aplicación es ineficaz y en muchos aspectos no mejoró lo que se había estipulado en los reglamentos de 1989 y, sobre todo, de 2005; el reglamento actual exige menor calidad de agua del efluente final del ente generador, no diferencia a los cuerpos de agua receptores, no distingue los tipos de industria, no incluye la medición de la demanda química de oxígeno ni parásitos, el plazo de cumplimiento es más largo (el

Figura 1. Morfometría del país, países vecinos, vertientes y principales cuerpos de agua (lagos y lagunas) y volcanes (focos eruptivos)

anterior sólo otorgaba 6 años en dos etapas, ahora son cuatro etapas de 5 años, siendo la última a 2024, y además se han dado dos ampliaciones de dos años cada una a las municipalidades para su cumplimiento), se redujeron las categorías de reúso de agua residual, no define periodicidad al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para realizar los controles de descargas de aguas residuales y exime al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) de hacerlos, entre otras carencias.

Dentro de este contexto se describe el capítulo de Calidad del Agua en Guatemala, donde, a pesar de contar con la reglamentación y las entidades públicas para hacerla cumplir, su aplicación ha sido ineficaz, lo cual se evidencia por el grado de contaminación de la mayoría de los cuerpos de agua del país.

Este capítulo fue elaborado utilizando los resultados de investigaciones científicas, que cuantifican y califican la situación de los cuerpos de agua del país y los esfuerzos que se están realizando para mejorar su gestión.

1.2 Causas principales de los problemas de calidad de agua

Según Castellanos (2013), los problemas ambientales del país han alcanzado un nivel crítico, aunque no es evidente para la mayoría de la población. Por lo anterior, el deterioro del entorno ambiental y los servicios que prestan seguirá aumentando, hasta que cambie esta forma de pensar.

Una de las causas principales del deterioro de la calidad de agua es la ingobernabilidad manifestada en la indiferencia del ciudadano y la falta de cumplimiento de las leyes relacionadas, como se indicó en el inciso anterior; la población debe ser informada sobre la importancia de la calidad del agua para la salud humana y los ecosistemas (Siguí, 2016).

La falta de cumplimiento de la reglamentación y normatividad por parte de las instituciones que por ley deben velar por la calidad del agua se derivan de una institucionalidad débil. Por ejemplo, el MSPAS no cuenta con la capacidad para cumplir lo establecido en el Código de Salud en lo referente a calidad del agua para consumo humano, ni el MARN para lo establecido en la Ley 68-86 y el Acuerdo Gubernativo 136-2006 por lo que respecta al tratamiento de aguas residuales y el monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua superficiales, debido a que no tiene los recursos suficientes para hacerlo y asegurarse de que los entes generadores le den tratamiento adecuado a las mismas.

Otra causa del estado actual de la calidad del agua en el país es la falta de tratamiento de las aguas residuales municipales y urbanas y aquellas que son tratadas; la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento no es en todos los casos el adecuado. Igual sucede con las aguas residuales de la agroindustria, que son descargadas sin tratamiento o con tratamiento insuficiente.

Los residuos de los agroquímicos utilizados en la agricultura son una fuente no puntual del deterioro de la calidad del agua. Sin embargo, no hay regulaciones para el control de las fuentes no puntuales de contaminación de los cuerpos de agua del país.

1.3 Objetivos del capítulo

El objetivo del capítulo es dar a conocer a tomadores de decisión y funcionarios de las entidades públicas, al sector privado, académicos y sociedad civil las causas del deterioro de la calidad del agua en el país, para que, conscientes de la situación, todos contribuyamos a su solución. Agua de mala calidad afecta la salud de la población, especialmente de la niñez y de los ecosistemas acuáticos y su diversidad biológica, así como también afecta las actividades económicas por el tratamiento previo que hay que realizar para poder utilizarla.

2. Autoridad institucional y gobernanza de calidad de agua

2.1 Marco legal

Existe normativa ordinaria para el tema ambiental, como la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68-86), la Ley de Áreas Protegidas (Decreto 4-89), la Ley Forestal (Decreto 101-96) y la Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (Decreto 7-2013). La rectoría del tema ambiental la tiene el MARN, quien debe coordinar con las municipalidades y el sector privado del país (Artículo 20 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente) para asegurar la sostenibilidad del desarrollo nacional.

El Acuerdo Gubernativo del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (236-2006), publicado en 2006, tiene como objeto establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita: a) proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana; b) recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización; y c) promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada. También es objeto de este reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el MARN promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico. El Reglamento establece que le compete su aplicación al MARN. Como se indicó anteriormente, el Reglamento tiene varias carencias y se ha propuesto la emisión de uno nuevo basado en investigación científica (Siguí, 2016).

La norma COGUANOR NGO 29001:99 contiene los valores de los límites máximos aceptables y límites máximos permisibles de compuestos químicos, características sensoriales, biocidas y límites bacteriológicos, así como las concentraciones que debe tener el agua clorada y los métodos de análisis bacteriológicos, todos relacionados con la calidad con la que debe cumplir el agua para consumo humano.

El Artículo 38 del Código de Salud establece que una de las acciones de prevención para mantener la salud es garantizar agua potable para la población y la disposición adecuada de excretas. Asimismo, toda la Sección II del mismo se refiere a las formas de garantizar acceso y cobertura universal al agua potable, estableciendo la relación entre el MSPAS con el Instituto de Fomento Municipal (INFOM) y otras instancias para promover una "política prioritaria y de necesidad pública, que garantice el acceso y cobertura universal de la población a los servicios de agua potable con énfasis en la gestión de las propias comunidades para garantizar el manejo sostenible del recurso". En el mismo código se establece la obligación de las municipalidades de abastecer de agua potable a las comunidades situadas en su jurisdicción territorial, lo que está contenido también en el Código Municipal.

2.2 Relaciones con la academia y ONG

La determinación de la calidad del agua para abastecimiento a poblaciones está a cargo de las municipalidades, del MSPAS, de los comités de agua a nivel rural y de las asociaciones de vecinos que prestan el servicio, ya que son abastecidos por pozos mecánicos propios. La determinación de la calidad del agua de los cuerpos receptores está a cargo de entidades públicas como las autoridades de las cuencas de los cuatro principales lagos del país (Atitlán, Amatitlán, Petén Itzá e Izabal), instituciones como el Instituto Privado para Investigación en Cambio Climático (ICC) y de Organizaciones No Gubernamentales (ONG) que co-administran áreas protegidas –Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN), en la Sierra de Las Minas, Bocas del Polochic y Sierra de Lacandón; FUNDAECO en Cerro San Gil, Punta de Manabique– y reservas naturales privadas.

Las universidades tanto públicas (San Carlos) como privadas (Rafael Landívar y Del Valle) realizan también determinación de la calidad del agua en trabajos de tesis e investigaciones en distintos cuerpos de agua del país. La Asociación Guatemalteca de Limnología y Gestión de Lagos (AGUALIMNO), creada en 2015, realizó en marzo de 2017 –en coordinación con las autoridades de los lagos, universidades y sector privado– un muestreo simultáneo en seis distintos cuerpos de agua en el país (Atitlán, Amatitlán, Petén Itzá, Chichoj, Petexbatún y El Pino).

2.3 Monitoreo y base de datos

El monitoreo de la calidad del agua es realizado por varias entidades tanto públicas como privadas, diferenciando si es para abastecimiento humano o para determinar sus condiciones naturales.

En relación con el monitoreo de la calidad del agua para fines de abastecimiento humano, a nivel nacional el MSPAS –a veces en coordinación con algunas municipalidades del país y con el INFOM– realiza el monitoreo de las fuentes de agua urbanas, así como de algunos puntos de la red de distribución para consumo doméstico. El monitoreo de las fuentes de agua rurales y su red de distribución está a cargo casi exclusivamente del MSPAS, que cuenta con una base de datos.

En el **Cuadro 1** se muestra el porcentaje de los sistemas de abastecimiento de agua con niveles adecuados de cloro residual en los 22 departamen-

tos del país durante 2016. Como puede advertirse, únicamente 29% de los sistemas de abastecimiento de agua vigilados en los 22 departamentos presenta niveles adecuados de cloro residual, lo cual es muy bajo. Aun en el Departamento de Guatemala el porcentaje es de 63%.

El monitoreo de la calidad de las aguas naturales, las cuales son afectadas por las actividades humanas y económicas, está a cargo de las autoridades de las cuencas de los principales lagos del país (AMSA, AMSCLAE, AMASURLI y AMPI), la academia y las ONG. Estas entidades cuentan con bases de datos.

El monitoreo de la calidad de las aguas residuales municipales y agroindustriales, fuentes puntuales, lo debe realizar el ente generador de contaminación a través de los estudios técnicos a que obliga el Reglamento 236-2006. El MARN es el encargado de recibir los estudios técnicos y de contar con la base de datos. El MARN toma alrededor de 300 muestras de descargas de entes generadores al año.

3. Problemas principales que impactan en la calidad de agua del país

3.1 Eutrofización

El Lago Amatitlán recibe las aguas residuales, en su mayoría sin tratamiento, del sector sur de la ciudad

Cuadro 1. Sistemas de abastecimiento de agua con niveles adecuados de cloro residual

Departamento	Sistemas de abastecimiento de agua con niveles adecuados de cloro residual	Total de sistemas de abastecimiento de agua vigilados	% Sistemas de abastecimiento de agua con niveles adecuados de cloro residual	Total de sistemas de agua registrados	% Sistemas de agua vigilados
Alta Verapaz	5	55	9	682	8
Baja Verapaz	14	45	31	393	11
Chimaltenango	72	167	43	661	25
Chiquimula	5	38	13	554	7
El Petén	15	114	13	210	54
El Progreso	17	43	40	169	25
Escuintla	30	191	16	226	85
Guatemala	235	371	63	898	41
Huehuetenango	16	214	7	1491	14
Izabal	6	67	9	316	21
Jalapa	3	46	7	236	19
Jutiapa	24	296	8	374	79
Quetzaltenango	6	41	15	515	8
Quiché	91	345	26	1292	27
Retalhuleu	9	59	15	154	38
Sacatepéquez	89	153	58	156	98
San Marcos	34	90	38	651	14
Santa Rosa	22	66	33	217	30
Sololá	1	6	17	608	1
Suchitepéquez	12	69	17	282	24
Totonicapan	25	46	54	131	35
Zacapa	2	10	20	213	5
Total general	**733**	**2532**	**29**	**10429**	**24**

Fuente: MSPAS, 2017.

de Guatemala y de otros municipios de la región metropolitana (381 km^2). Mosquera (2015) analizó la calidad del agua del lago y la tendencia entre los años 2008 y 2013 para evaluar el efecto de las medidas del Programa Ambiental (PRACLA), financiado por el Banco Interamericano (BID) durante ese período. Debido al grado previo de contaminación del lago, el estado trófico entre 2008 y 2013 se ha mantenido, calificándose de acuerdo con Vollenwieder (1968) como eutrófico. Según datos recientes es hipereutrófico (M. Dix com. per.).

El lago de Atitlán se ha ido deteriorando por el aumento de las concentraciones de nutrientes que favorece el crecimiento de algas y, en consecuencia, la reducción de claridad del lago. Actualmente, la mayor parte de las aguas residuales generadas por las 300 mil personas de la cuenca se descargan al lago (407 litros/segundo). El fósforo y nitrógeno presente en las aguas residuales están acelerando la eutrofización del lago. Los patógenos que provienen de las aguas residuales también aumentan la degradación de la calidad del agua (Chandra *et al*., 2013).

Algunos de los demás lagos (Izabal, Petén Itzá) y lagunas (Chichoj, El Pino, entre otras) muestran también procesos de eutrofización en sus aguas.

3.2 Contaminantes naturales

En el país hay 33 volcanes y algunos están activos. La actividad volcánica y la geología son fuentes de arsénico y de otros metales pesados. Pérez-Sabino *et. al.* (2015) realizaron cuatro muestreos en 2014 en 14 sitios, en los principales ríos tributarios y en el lago de Atitlán, así como en la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales, en Panajachel, cabecera municipal ubicada dentro de la cuenca de dicho lago, en las cuales determinaron las concentraciones de arsénico y mercurio. Las concentraciones del primero en todas las muestras fueron superiores a 20 ug/l, valor superior al nivel máximo permitido para agua potable (10 ug/l), según la norma de calidad del agua para abastecimiento humano en el país, COGUANOR (NGO 29001), por lo que el agua del lago de Atitlán y sus tributarios no es apta para el consumo humano, aunque es utilizada por varias comunidades. La fuente de arsénico se debe a la geología de la cuenca, que se localiza en una zona volcánica.

3.3 Cianobacterias

López *et al*. (2015) tomaron 120 muestras del lago de Amatitlán en la zona fótica, afótica y en el hipolimnion, en época seca y lluviosa en 2013 y 2014, identificando 36 taxones de fitoplancton (diez de cianobacterias), siendo *Microcystis* spp., y *Dolichospermum* spp., los taxones con mayores densidades (61,000-208,000 cel/ml y 24,000-31,000 cel/ml, respectivamente). El estudio concluye que existe una clara dominancia de cianobacterias en la zona fótica, la cual disminuye en zona afótica e hipolimnion. Además, las cantidades grandes de biomasa de cianobacterias no influyen en gran manera en la diversidad de fitoplancton.

En Guatemala, desde 2016, el laboratorio del Centro de Estudios Atitlán tiene la capacidad de determinar la concentración de cianotoxinas (microcistina LR, YR y nodularin combinadas, saxitoxina, cylindrospermopsina y anatoxina-a por medio de pruebas de ELISA) en muestras de agua. Rutinariamente se analizan las concentraciones de cianotoxinas cuando hay florecimientos confirmados en los lagos de Amatitlán y Atitlán. Hasta la fecha se han encontrado microcistinas, en concentraciones arriba de 1 µg/L, generalmente en sitios específicos de Amatitlán, así como niveles bajos de anatoxina-a en florecimientos de *Dolichospermum*. Para Atitlán, hasta la fecha no se han encontrado niveles arriba de los niveles recomendado por la OMS (1 µg/L para microcistinas y 3 µg/L para anatoxina-a).

Se realizaron bioensayos de toxicidad con *Thamnocephalus platyurus* (Mayorga, 2014) del afloramiento de cianobacterias en el Lago Atitlán en 2009, siguiendo la metodología de Törökné (1999). La concentración letal media (CL50) de la biomasa proveniente del centro del lago en 2009 fue de 0.077 mg/L, lo cual es extremadamente tóxico, según la clasificación de Törökné. Biomasa colectada en otra oportunidad no mostró contenido de cianotoxinas conocidas, por lo que se cree que lo ocurrido en 2009 pudo contener cianotoxinas aún no descritas o sustancias bioactivas (potencialmente medicinales) muy tóxicas. En 2013, la CL50 de biomasa proveniente del mismo lugar fue de 2.13 mg/L (muestra tóxica según el criterio de Törökné). Extractos de *Microcystis* provenientes de otro lago en Guatemala (Mayorga, datos no publicados) causaron una CL50 de 0.26 mg/L.

3.4 Agroquímicos

Coc y Vanegas (2015) evaluaron el efecto de diferentes usos de la tierra sobre la erosión y sedimentación, y concluyeron que los cultivos causaron tasas de erosión que fueron el doble (entre 16.65 y 28.53 t/ha) que las reportadas para bosques secundarios (entre 10.14 y 12.72 t/ha). Por consiguiente, los residuos de agroquímicos utilizados en el cultivo de hule y los de agricultura anual serían transportados en los procesos de escorrentía, además de la pérdida de la fertilidad de los suelos.

3.5 Metales pesados

El mercurio es un contaminante tóxico, persistente y bioacumulativo (UNEP, 2013, citado por Pérez-Sabino *et. al.*, 2015), el cual es biomagnificado en la red trófica, siendo uno de los metales pesados con mayor potencial tóxico. El metilmercurio es una potente neurotoxina que presenta la capacidad de penetrar las membranas de los seres vivos y representa un riesgo para la salud reproductiva y neurológica (Scheuhammer, Meyer, Sandheinrich & Murray, 2007, citado por Pérez-Sabino *et. al.* 2015). La principal ruta de exposición del ser humano al metilmercurio es a través del consumo de pescado contaminado, pudiendo causarle problemas de salud como reducción del campo visual, disturbios de movilidad, deterioro mental, parálisis y muerte (Bisinoti & Jardim, 2004). Pérez-Sabino *et. al.* (2015) reportaron la presencia de mercurio en casi todos los sitios de muestreo del lago de Atitlán, en concentraciones de hasta 3.81 µg/L, siendo el límite máximo permitido para agua potable 1 µg/L, según la norma COGUANOR (NGO 29001).

3.6 Deforestación

Castellanos (2013) indica que en los últimos 25 años el país perdió 20% del bosque, a pesar de la implementación del programa de incentivos. A la fecha se ha invertido US$ 202 millones de dólares, reforestando alrededor de 150,000 ha (INAB 2016).

El cambio de uso de la tierra, sin las medidas de conservación de suelos y aguas, genera, además de la pérdida de la cobertura arbórea, erosión y sedimentación. En el país, el uso correcto de la tierra es de 46%, el sobreuso es de 25% y el restante 29% es sub-uso; la tasa de erosión potencial en las áreas sobre-utilizadas es ocho veces mayor a las subutilizadas (IARNA, 2009, citado por Coc y Vanegas, 2015). La FAO (citado por Coc y Vanegas, 2015) define una erosión de suelo ligera la que es menor de 10 t/ha/año, moderada entre 10 y 50, alta entre 50 y 200 y muy alta arriba de las 200 t/ha/año.

3.7 Salinización

Las partes bajas de algunas cuencas de la vertiente del Pacífico del país (Figura 1) presentan niveles de salinidad por arriba de 0.5 mg/l, valor que la norma guatemalteca para agua potable (COGUANOR NGO 29 001), establece como salobre y es un indicativo de la intrusión salina. La intrusión salina se da por el bombeo excesivo (sobreexplotación de los acuíferos) y por sequías prolongadas en el abanico aluvial de los ríos Coyolate, Acomé y Achiguate (ICC, 2017).

3.8 Aguas residuales

La contaminación de los cuerpos hídricos, causada por las descargas de aguas residuales municipales urbanas y agroindustriales sin tratamiento, resulta un grave problema por la gran parte de la población que se abastece de fuentes no mejoradas de agua (Lentini, 2010). Mosquera señaló que según cifras del MSPAS, 90% de las aguas nacionales están contaminadas con heces (Prensa Libre, 2017:18).

Siguí (2016) indicó que el tratamiento convencional de las aguas residuales, incluyendo la desinfección, no elimina los parásitos. La desinfección del efluente tratado al combinarse con materia orgánica forma trihalometanos que son considerados cancerígenos, y el cloro residual es dañino para la vida acuática.

Como se indicó anteriormente, las concentraciones de arsénico y mercurio en el agua superficial del lago de Atitlán y sus tributarios fueron superiores a los límites recomendados por la norma de agua potable del país. Se tiene contemplado transvasar las aguas residuales generadas en la cuenca del lago de Atitlán para reducir la carga de nutrientes. Sin embargo, según Pérez-Sabino *et al.* (2015) además de trasvasar los nutrientes, se estaría haciendo lo mismo con el arsénico y mercurio, contaminando los suelos y cultivos de la zona que recibiría esta agua, por lo que debe considerarse en el análisis la viabilidad del proyecto. Un caso similar se estaría presentando con el re-uso de las aguas superficiales del lago de Amatitlán, sin tratamiento adecuado, para abastecimiento de la Ciudad de Guatemala y su área de influencia, la Región Me-

tropolitana de Guatemala (RMG), ya que las aguas del lago también han reportado concentraciones de metales superiores a la norma de agua potable.

3.9 Lixiviación a aguas subterráneas y cuerpos de agua superficiales

Los lixiviados provenientes de los vertederos controlados de residuos y desechos sólidos municipales son una fuente de contaminación del agua subterránea y superficial. Los residuos y desechos sólidos municipales de las ciudades más grandes del país –como lo es la Región Metropolitana de Guatemala (RMG)– son depositados en la Zona 3 de la Ciudad de Guatemala, que no tiene recolección ni tratamiento de lixiviados. En el resto de las cabeceras municipales (en total hay 333), los residuos y desechos sólidos son también vertidos sin ningún control de los lixiviados.

Algunas industrias y agroindustrias del país cuentan con sistemas de captación y tratamiento de lixiviados, como, por ejemplo, las cenizas de la combustión del carbón en el sector termoeléctrico.

3.10 Estudios eco-toxicológicos de agua superficial, marina y subterránea

Mayorga (2009) realizó pruebas de eco-toxicidad y potencial eutrofizante en aguas dulces y marinas en el país, reportando que en pocos puntos hubo toxicidad –usualmente ésta fue leve y no constante– y que el potencial de eutrofización, reflejado en el crecimiento excesivo del bioensayo con algas verdes unicelulares, fue la principal amenaza para los cuerpos de agua evaluados, a causa del exceso de nutrientes inorgánicos.

Mayorga (2016) realizó pruebas de toxicidad en el agua subterránea en el valle de la Ciudad de Guatemala, reportando que 8 de los 10 pozos presentaron toxicidad hacia alguno o varios de los organismos de ensayo utilizados. El pozo con agua más toxica cumple con la norma COGUANOR 29001 de agua potable. Ciertamente hace falta aumentar la cobertura de abastecimiento de agua potable en el país y se debe invertir para lograrlo, pero se debe también considerar que sea de la calidad adecuada. Los parámetros que establece la norma COGUANOR son adecuados, pero no suficientes debido a los contaminantes emergentes (fármacos, disruptores endocrinos y nanopartículas) y otros, por lo que no aseguran que el agua sea de buena calidad. Como se indicó, la mayoría de las muestras de agua subterránea tomadas de pozos mecánicos que surten de agua cumplían con la norma COGUANOR de potabilidad, pero fueron tóxicas a diversos organismos acuáticos. Esto indica que hay sustancias tóxicas presentes en el agua subterránea que no son detectadas por los análisis fisicoquímicos y microbiológicos convencionales requeridos (AGISA, 2016).

3.11 Contaminación emergente

Los contaminantes emergentes están catalogados como productos utilizados para diferentes actividades cotidianas, los cuales han sido encontrados en cuerpos de agua sin perder su actividad, por lo que se considera que pueden afectar de manera directa o indirecta la biota acuática y al ser humano (Hernández, 2013). En un muestreo en los ríos Las Vacas y Villalobos, subcuencas de las vertientes del Mar Caribe y Pacífico del país respectivamente, Hernández reportó acetaminofeno, cafeína, dexketoprofeno, fenilefrina e ibuprofeno. El único analito que presentó valores por debajo del límite de detección fue diclofenaco sódico. De los cinco analitos encontrados, fenilefrina presentó la mayor cantidad en ambos ríos en comparación con la cafeína, la cual tuvo los promedios más bajos en ambos ríos.

3.12 Enfermedades microbianas

La prevalencia de la infección por *Helicobacter pylori* está asociada con pobres condiciones sanitarias, falta de cloración del agua, preparación no higiénica de los alimentos y hacinamiento. Los consumos de agua no purificada entre otros factores de riesgo están asociados significativamente ($p < .001$) con la existencia de anticuerpos IgG anti-*H. Pylori.* Los otros factores que influyen son no estar sano ($p = .041$), la presencia de diarrea actual ($p = .003$) y la clase de servicio sanitario disponible ($p = .003$). En 2010 se reportó en el país una frecuencia de infección para niños de 5 a 10 años de 51%, que evidencia que la infección está presente en la población infantil desde temprana edad y, si los niños no reciben tratamiento, ésta persistirá durante toda la vida (WGO, 2010, citado por Matta *et. al.*, 2017).

3.13 Cambio climático

Durante el período de 1950 a 2014 se han registrado 16 años neutros, 25 con fenómenos de La Niña y 24 con El Niño (MARN, 2015). Estos fenómenos im-

Cuadro 2. Cambio de temperatura y precipitación media anual para Guatemala bajo el escenario de emisiones altas de gases de efecto invernadero

Variable	2020	2030	2050	2070	2100
Temperatura °C	0.8	1.0	2.0	2.9	4.7
Lluvia %	-1.5	-1.3	-12.7	-14.2	-26.8

Fuente: Castellanos (2013), con datos de CEPAL, 2010.

pactan en la variación de la precipitación, canícula y temperatura y, en consecuencia, en la cantidad y calidad del agua superficial y subterránea.

Las proyecciones de temperatura y lluvia por el cambio climático indican que el país se convertirá paulatinamente en más seco y más caliente, como se muestra en los cuadros 2 y 3, por lo que habrá que adaptarse a vivir con menos disponibilidad de agua (Imbach *et al*., 2012, citado por Castellanos, 2013). En el **Cuadro 2** se muestra que la reducción de la lluvia se acentuará a partir del año 2050 con disminuciones arriba de 10% de la precipitación promedio anual actual y la demanda aumentará, ya que la población del país llegará a 28 millones de habitantes (Castellanos, 2013).

El **Cuadro 3** muestra que la demanda de agua está creciendo a una tasa de casi 10% anual, lo que disminuye 28% el excedente de agua disponible, sin tomar en cuenta ninguna disminución en su disponibilidad. El volumen de agua contaminada aumentará a una tasa de 3.5% anual y continuará ensuciando los cuerpos de agua receptores (Castellanos, 2013).

4. Aspectos sociales y económicos

4.1 Salud

La falta de acceso a agua segura y a condiciones mínimas de saneamiento son factores que inciden negativamente en la salud de las personas (IARNA-URL, 2012).

La segunda causa de mortalidad infantil del país son las enfermedades diarreicas (8.3% en 2012, según MSPAS, citado por Castellanos, 2013); 20.2% de niños menores de seis años padecieron de diarrea (INE, 2016). En el año 2016, el informe del MSPAS muestra que 402,965 personas a nivel nacional fueron afectadas por problemas gastrointestinales, especialmente con enfermedades diarreicas.

El sistema de salud está segmentado y fragmentado, lo cual repercute en exclusión social e ineficiencia, respectivamente. El gasto público en salud en el período de 2001 a 2007 fue de 1.2% del PIB, el más bajo de Centroamérica (MARN, 2015).

4.2 Pobreza

El impacto por la falta de servicios de agua potable y saneamiento recae principalmente sobre los sectores con mayor pobreza del país. Tener servicios inadecuados de agua y saneamiento afecta negativamente la salud y bienestar: el tiempo invertido en la recolección, transporte y provisión de agua en los hogares pobres y el incremento en días de ausencia laboral a causa de enfermedades asociadas al consumo de agua no segura, incide en la posibilidad de asegurar ingresos familiares.

Durante 2006, 67.2% de los niños menores de seis años en situación de pobreza sufrió diarrea. En 2008, 49.8% de los niños menores de cinco años padecía desnutrición crónica. La diarrea es la causa de 18.4% de la mortalidad de los niños menores de cinco años (MARN, 2015). Las diarreas permanecen dentro de las primeras 10 causas de morbilidad y mortalidad a nivel país (MSPAS, 2016).

4.3 Nivel de educación

En el país, con un desarrollo humano medio y rezagos históricos, la escolaridad promedio de su población adulta general en 2014 era de 5.6 años: 6.0 años en los hombres y 5.3 en mujeres, y 4.0 años en la población indígena. A 2014, el alfabetismo total era del 79.1%: 74.0% en mujeres y 84.8% en hombres, y 57.6% en mujeres indígenas (INE, 2016). El gasto público en educación en 2013 fue de alrededor de 2.8% del PIB (MARN, 2015).

Cuadro 3. Balance hídrico para Guatemala a 2005 y 2025 para el mes más seco. Todos los datos se dan en millones de metros cúbicos

Concepto	2005	2025 tendencial	% Cambio 2005-2025
Disponibilidad	2,645	2,645	0
Demanda	336	988	+194
Saldo	2,309	1,656	-28
Aguas contaminadas	183	312	+70

Fuente: Castellanos (2013), con datos de CEPAL, 2010.

4.4 Género

Según Foster y Araujo (2004, citados por Ducci, 2007), 74% de las actividades de acarreo de agua, personas responsables de su tratamiento, limpieza y aseo del hogar en Guatemala es realizado por mujeres y niñas. Se estima que el tiempo promedio empleado en estas actividades es de 5 a 6 horas diarias (RASGUA, 2007, citado por Ducci), lo que limita a la mujer para el desarrollo de otras actividades, como la posibilidad de inserción laboral en el mercado formal.

La carencia de servicios sanitarios adecuados en las escuelas conlleva a la deserción escolar, cuya tasa es mayor en el caso de las niñas (MARN, 2015). Por lo contrario, la presencia de los servicios de agua potable y saneamiento posibilita mayor privacidad y seguridad, lo que repercute particularmente en el bienestar de las mujeres, dado que se disminuyen así las probabilidades de violencia y acoso sexual (Bosch *et al*., 1999).

4.5 Áreas rurales y urbanas

En 2014, 89.8% de la población que vivía en el área urbana tenía acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable en comparación con 64.2% de la población que tenía acceso en el área rural. En 2014, 73.4% de la población que vivía en el área urbana tenía acceso a drenajes en comparación con 11.6% de la población que tenía acceso en el área rural. En 2014, 53.6% de la población que vivía en el área urbana tenía contadores de agua en comparación con 8.9% de la población que tenía acceso en el área rural (INE 2016).

El 74% de los hogares lleva a cabo algún tipo de tratamiento para el agua que consume o la compra directamente purificada (Foster y Araujo, 2004). Mientras que en las zonas urbanas más de 20% de los hogares compra agua purificada y casi 15% la hierve, en las zonas rurales más de 20% la hierve y sólo 5% la compra purificada (Lentini, 2010).

4.6 Inversión en programas de calidad de agua

El Departamento de Regulación de los Programas de la Salud y Ambiente (DGRVCS) del MSPAS cuenta con un sistema de vigilancia de calidad de agua de los sistemas de abastecimiento (SIGSA-SIVIAGUA), el cual durante el año 2016 llevó el control de 24% (2,532) del total de sistemas de agua registrados (10,429).

El AG 236-2006 exige que los generadores de aguas residuales realicen análisis de la calidad del agua de los efluentes tratados, previo a su descarga al colector municipal o a un cuerpo de agua receptor, dos veces al año, así como el estudio técnico respectivo. La Dirección de Cuencas y Programas Estratégicos del MARN, a manera de llevar un control de la calidad del agua de las descargas de aguas residuales, realiza un monitoreo de algunas de éstas para evidenciar el cumplimiento del AG 236-2006; el número promedio de muestras al año es de 300.

4.7 Actividades económicas

La actividad agropecuaria participa de 13.1% del PIB; la explotación de minas y canteras, de 0.7% del PIB; el suministro de electricidad y captación de agua, de 2.6% del PIB. La agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, así como la explotación de minas y canteras han registrado un comportamiento dinámico (MARN, 2015). Existen varias industrias que, por la ubicación en la que se encuentran, no tienen fácil acceso al servicio de abastecimiento de agua, por lo que dependen de las aguas subterráneas y superficiales como fuente. La explotación excesiva

de agua subterránea es lo que lleva al deterioro de la calidad de agua y resulta en un incremento de sólidos disueltos totales (Van de Wauw, Evens & Machiels, 2010).

5. Enfrentando el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6

El 25 de septiembre de 2015, Guatemala, al igual que otros 194 países, adoptó los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con la Declaración Transformar Nuestro Mundo: la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Los ODS asumen la tarea de finalizar los temas que quedaron pendientes de cumplirse en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) e incorporan nuevos temas para avanzar al desarrollo sostenible (SEGEPLAN, 2017).

El párrafo 55 de la Declaración indica que cada país fijará sus propias metas nacionales. En enero de 2016, un nuevo presidente inició su mandato de cuatro años en Guatemala. En este sentido, el CONADUR estipuló que la agenda ODS sería objeto de análisis y adecuación a la realidad y en el marco de prioridades de desarrollo del país. Por esa razón, en 2016 se elaboró una estrategia de articulación de los ODS al Plan Nacional de Desarrollo K´atun Nuestra Guatemala 2032 (PND), formulado en 2012, que permitió priorizar las metas nacionales en los primeros cuatro años del actual Gobierno. En el **Cuadro 4** se subrayan los avances de los indicadores de las metas del Objetivo 6.

a. Acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos

En el **Cuadro 5** se muestra el acceso de la población al agua a 2015.

b. Acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de mujeres, niñas y personas en situación vulnerable

En el **Cuadro 6** se muestra el acceso a servicios de saneamiento a 2015.

c. Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad

Como se ha indicado anteriormente, el país cuenta con el reglamento que prevé la reducción de la contaminación, sin embargo, las aguas residuales municipales no son tratadas en la mayoría de los municipios. La agroindustria utiliza las aguas residuales tratadas para ferti-riego.

d. Aumentar sustancialmente la utilización eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir sustancialmente el número de personas que sufren de esto último

La Constitución Política del país, promulgada en 1985, ordena que se emita una ley sobre el recurso agua. Desde esa fecha ha habido varias iniciativas de ley, pero aún no se cuenta con una.

Recientemente en el país se creó la Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana (FUNCAGUA), para mejorar la recarga potencial de los acuíferos en la Región Metropolitana de Guatemala (RMG); reducir la escorrentía y, por lo tanto, la erosión constante y el riesgo de deslizamientos por eventos hidrometeorológicos extremos; generar una mayor sensibilización y educación entre los distintos usuarios del agua en torno a la problemática asociada a la gestión integrada de recursos hídricos y las posibles soluciones; mejorar la capacidad de gestión de recursos financieros a favor de la conservación del agua, los suelos y los bosques; y monitorear el entorno vinculado a la gestión integral del agua en la RMG.

FUNCAGUA considera a la RMG como un territorio formado por al menos 12 municipios (y una población estimada de alrededor de 4 millones de habitantes) en 20 microcuencas, que aportan al menos 701 millones de m^3/año de agua superficial y 140 millones m^3/año de agua subterránea, aunado al aporte de cuatro microcuencas de los ríos Xayá y Pixcayá que, a pesar de estar situadas fuera de la RMG, representan una importante fuente de agua superficial, con un aporte de 88 millones de m^3/año. Estos aportes son complementados por un nú-

mero indeterminado de pozos mecánicos que explotan los acuíferos locales. Información pública de la Empresa Municipal de Agua del Municipio de Guatemala (EMPAGUA) demuestra que todos sus pozos han bajado de nivel –entre 450 y 750 pies en la década de los 70 a 1200-1500 pies de profundidad cerca de la década de 2010, con un descenso de productividad en cantidad de litros por segundo (FUNCAGUA, 2016)–.

e. Poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza

El PNUMA apoya a los países en el monitoreo y la presentación de información sobre el ODS 6 y elaboró la metodología de monitoreo del indicador 6.5.1 paso a paso. En el país, en octubre del 2017, se llevó a cabo un taller para aplicar dicha metodología.

Cuadro 4. Indicadores de Guatemala para cada una de las metas del ODS 6

Metas	Indicadores
Meta 6.1 Para 2030, lograr el acceso universal y equitativo a agua potable segura y asequible para todos .	**6.1.1** Proporción de la población que dispone de servicios de suministro de agua potable gestionados de manera segura. (En el Cuadro 5 se muestra la cobertura)
Meta 6.2 Para 2030, lograr el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones vulnerables.	**6.2.1** Proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados de manera segura, incluida una instalación para lavarse las manos con agua y jabón. (En el **Cuadro 6** se muestra la cobertura)
Meta 6.3 Para 2030, mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y el aumento del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad en un [x]% a nivel mundial	**6.3.1** Proporción de aguas residuales tratadas de manera segura. (5%) **6.3.2** Proporción de masas de agua de buena calidad. (No determinado)
Meta 6.4 Para 2030, aumentar sustancialmente la utilización eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir sustancialmente el número de personas que sufren de escasez de agua.	**6.4.1** Cambio en la eficiencia del uso del agua con el tiempo. (El sistema de riego cambió de inundación a aspersión) **6.4.2** Nivel de estrés por escasez de agua: extracción de agua dulce como proporción de los recursos de agua dulce disponibles. (En varias de las cuencas del Pacífico, en la época seca, el nivel de estrés es alto; comités de cuenca)
Meta 6.5 Para 2030, poner en práctica la ordenación integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.	**6.5.1** Grado de aplicación de la ordenación integrada de los recursos hídricos (0-100). (Estimado 10%) **6.5.2** Proporción de la superficie de cuencas transfronterizas con un arreglo operacional para la cooperación en la esfera del agua. (No hay arreglos)
Meta 6.a Para 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, incluidos el acopio y almacenamiento de agua, la desalinización, el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, el tratamiento de aguas residuales y las tecnologías de reciclaje y reutilización.	**6.a.1** Volumen de la asistencia oficial para el desarrollo destinada al agua y el saneamiento que forma parte de un plan de gastos coordinados del Gobierno. (En 2005 se inició la operación de un primer préstamo con el BID que llevó años ejecutarlo. En 2013, el Congreso aprobó la ejecución de un segundo préstamo, del que casi nada se ha ejecutado. Hay en revisión otro préstamo con el BM, previo a enviarlo al Congreso)
Meta 6.b Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento	**6.b.1** Proporción de dependencias administrativas locales con políticas y procedimientos operacionales establecidos para la participación de las comunidades locales en la ordenación del agua y el saneamiento. (Varias en el país)

Fuente: SEGEPLAN, 2017.

Cuadro 5. Cobertura por fuente, tiempo y tratamiento de agua en los hogares

Característica	Hogares			Población		
	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total
Fuente de agua para beber						
Fuente mejorada	46.8	66.1	57.3	49.7	67.9	60.2
Por cañería dentro de la vivienda	23.0	17.5	20.0	23.6	17.6	20.2
Por cañería en lote/terreno	21.8	38.8	31.1	23.9	40.3	33.3
Pilón / grifo público	0.4	1.9	1.2	0.5	2.0	1.4
Otra fuente por cañería	1.4	4.5	3.1	1.5	4.5	3.2
Manantial protegido	0.1	1.4	0.8	0.1	1.4	0.8
Agua lluvia	0.1	2.1	1.2	0.1	2.2	1.3
Fuente no mejorada	53.1	33.6	42.5	50.2	31.8	39.6
Pila pública / tanque público	0.2	1.0	0.7	0.2	1.1	0.7
Pozo mecánico o manual (brocal)	3.9	15.1	10.0	4.6	14.8	10.5
Manantial no protegido	0.2	3.3	1.9	0.3	3.4	2.1
Carro tanque / carreta con tambor	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
Río / acequia	0.0	2.0	1.1	0.0	2.2	1.3
Lago o arroyo	0.0	0.7	0.4	0.0	0.8	0.4
Agua embotellada	48.7	11.3	28.4	45.0	9.3	24.5
Otra fuente	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1
Total	100.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Tiempo para obtener agua (ida y vuelta)						
Agua en la vivienda	97.1	83.1	89.5	96.8	82.5	88.6
Menos de 30 min	2.5	13.0	8.2	2.8	13.3	8.8
30 min o más	0.4	3.9	2.3	0.4	4.1	2.5
No sabe / sin información	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Tratamiento del agua antes de beber a/						
Hervida	26.2	53.0	40.8	28.9	55.9	44.4
Decolorante o cloro agregados	10.1	15.6	13.1	10.9	15.6	13.6
Filtrada con tela	0.4	0.8	0.6	0.4	0.9	0.7
Filtro de cerámica, arena u otro tipo	4.8	3.7	4.2	4.7	3.6	4.1
Purificada con luz solar	0.1	0.6	0.4	0.1	0.7	0.5
Otro tratamiento	0.3	0.5	0.4	0.2	0.4	0.4
Sin tratamiento	13.4	21.5	17.8	14.1	20.8	18.0
% con método apropiado de tratamiento b/	37.3	66.4	53.1	40.4	69.1	56.9
Número	**9,751**	**11,632**	**21,383**	**43,668**	**59,025**	**102,693**

a/ Los entrevistados pueden reportar más de un método de tratamiento del agua, por lo tanto, la suma de los diferentes tipos de tratamiento puede exceder 100 por ciento.
b/ El método apropiado para el tratamiento del agua incluye hervirla, usar cloro, filtrarla o purificarla con luz solar.
Fuente: ENCOVI, 2017.

Cuadro 6. Acceso a servicio sanitario en los hogares según área de residencia

Característica	Hogares			Población		
	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total
Instalación mejorada, no compartida						
Con descarga a alcantarillado	65.5	11.7	36.3	64.6	10.7	33.6
Con descarga a pozo séptico	8.4	18.7	14.0	8.7	17.7	13.8
Con descarga a letrina	9.2	41.0	26.5	11.0	44.7	30.4
Letrina mejorada ventilada	0.0	1.2	0.7	0.0	1.3	0.8
Total	83.2	72.5	77.4	84.3	74.4	78.6
Instalación compartida a/						
Con descarga a alcantarillado	9.9	2.1	5.7	8.8	1.8	4.8
Con descarga a pozo séptico	1.3	2.8	2.1	1.2	2.3	1.8
Con descarga a letrina	2.1	9.5	6.1	2.1	8.4	5.7
Letrina mejorada ventilada	0.0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1
Total	13.3	14.6	14.0	12.1	12.6	12.4
Instalación no compartida						
Descargada, pero no a alcantarillado, ni a pozo séptico, ni a letrina	2.1	2.6	2.3	2.2	2.5	2.4
Letrina sin cierre	0.1	0.5	0.3	0.1	0.6	0.4
Sin servicio/matorral/campo	1.3	9.7	5.9	1.3	9.9	6.2
Total	3.4	12.8	8.5	3.6	13.0	9.0
Total	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**
Número	**9,751**	**11,632**	**21,383**	**43,668**	**59,025**	**102,693**

a/ Servicios que serían considerados "mejorados", si no fueran compartidos por dos o más hogares.
Fuente: ENCOVI, 2017.

Alrededor de 75% de la disponibilidad hídrica anual de Guatemala va hacia países vecinos. Sin embargo, por carecer de un marco legal, no hay negociaciones bilaterales entre países.

El proyecto Gobernanza de las Aguas Subterráneas en Acuíferos Transfronterizos (GGRETA, por sus siglas en inglés) realizó la primera fase entre 2013 y 2015, la cual consistió en evaluar el acuífero transfronterizo en una región entre El Salvador, Honduras y Guatemala, conocida como El Trifinio (UNESCO, 2016). Los acuíferos Esquipulas y Ocotepeque-Citalá no presentan aún la problemática de agotamiento por el sobreuso de las aguas subterráneas, pero si se sigue aprovechando de forma desordenada, sin tener lineamientos que permitan realizar una gestión adecuada, aquélla puede presentarse a mediano plazo. Además, se ha observado un déficit hídrico que se puede atribuir en parte a los efectos de la variabilidad y cambio climático, incremento de la duración de la época seca y periodos de lluvias fuertes que no permiten la infiltración hídrica que contribuya a la recarga de los acuíferos. Se debe tener como prioridad la creación de capacidades de El Salvador y Honduras, que comparten el acuífero Ocotepeque-Citalá, y en Guatemala, el acuífero Esquipulas (UNESCO, 2016).

f. Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos

El ICC, el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), conjuntamente con propietarios privados, han tra-

bajado para proteger y restablecer el bosque natural manglar en la vertiente del Pacífico, en las zonas de Tiquisate, Sipacate-Naranjo, Blanca Cecilia y Tahuexco, así como para darle seguimiento. Además, se evalúan áreas restauradas con mangle rojo (*Rhizophora mangle*) como en el área de conservación Sipacate-Naranjo (ICC, 2017).

Además, el INAB otorga incentivos forestales para protección de bosques naturales en zonas de muy alta y alta recarga hídrica, y fuentes de agua.

g. Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, incluidos el acopio y almacenamiento de agua, la desalinización, el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, el tratamiento de aguas residuales y las tecnologías de reciclaje y reutilización

La Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Río Naranjo (Mancuerna) es una asociación de municipios que trabaja desde hace 14 años por el agua para las presentes y futuras generaciones. La misión de la Mancuerna es promover la gestión integrada del recurso hídrico a través de su fortalecimiento, y su visión es que los municipios para el año 2020 hayan restablecido la gobernabilidad del agua.

La Cooperación Española ha contribuido con fondos para la Mancuerna, pero también para otras macomunidades como la Manctzoloyá y la Copán Chortí.

La cooperación internacional en el país apoya la creación y fortalecimiento de capacidades. La Asociación Mundial del Agua (GWP, por sus siglas en inglés) ha cooperado con proyectos de acopio y almacenamiento de agua de lluvia en escuelas del área urbana del municipio de Guatemala, conjuntamente con la municipalidad y Fundación Solar.

6. Experiencias exitosas en el mejoramiento de la calidad y cantidad de agua

Como se indicó anteriormente, en el período de 1950 a 2014 (45 años) se presentaron 25 años con precipitación por debajo del promedio anual histórico. La última sequía prolongada fue en los años 2014 y 2015, lo cual se reflejó con caudales menores en los ríos, sobre todo los de la vertiente del Pacífico, donde se realizan actividades agrícolas intensivas en el consumo de agua (caña de azúcar, palma de aceite y banano) y hay varias comunidades que utilizan agua de los ríos para uso doméstico.

En la época seca (enero a mayo) de 2016 el caudal de los ríos Madre Vieja, Ocosito y Achiguate, de la vertiente del Pacífico, fueron insuficientes para suplir la demanda, por lo que hubo conflictos entre las agroindustrias y las comunidades. Para resolverlos, en 2016 se conformaron 32 mesas técnicas: una técnica sociopolítica, conformada por comunidades, autoridades municipales, organizaciones no gubernamentales y empresas; una empresarial, conformada por los regantes; y otra técnica, conformada por las entidades públicas relacionadas, la gobernación, las municipalidades y el ICC. Entre los logros de las mesas técnicas estuvieron: contar con un inventario de usuarios, los resultados de los aforos en puntos estratégicos, y además se logró que el agua de los ríos llegara a desembocar al océano Pacífico. En 2017 se conformaron diez comités de cuencas, con apoyo de un coordinador y seis equipos de personal técnico y equipo (ICC, 2017).

En el país hay otras experiencias positivas como cuando los usuarios de la cuenca de un río aportan recursos financieros y en especie para que se mantenga el volumen y la calidad del agua. Guerra y Alvarado (2006) y Guerra y Reyes (2008) describen la experiencia del pago por servicios ambientales en las cuencas de la Sierra de Las Minas hacia el valle de San Jerónimo y en la subcuenca del río Ixtacapa, respectivamente.

De 2015 a 2017, el INAB promovió y fortaleció cinco mecanismos de Pago por Servicios Ambientales (PSA) hídricos en diferentes zonas del país: Olintepeque y Concepción Chiquirichapa en Quetzaltenango; Esquipulas Palo Gordo en San Marcos; Finca Nacional El Durazno, San Jerónimo, Baja Verapaz; y Los Amates Izabal (INAB, 2017).

Adicionalmente, la Ley Probosques estipula que "el INAB en colaboración con los beneficiarios y otros interesados, promoverá el funcionamiento de mecanismos de compensación dirigidos a los titulares de proyectos que generan servicios ecosistémicos y ambientales asociados a los bosques" (Art. 19, Decreto 2-2015).

Índices de calidad del agua (ICA) y de Contaminación (ICO)

En el país no existen índices de calidad del agua para determinar la variabilidad temporal y espacial de los cuerpos de agua. Aldana y Zacarías (2014) determinaron un ICA y tres ICO (por materia orgánica, por sólidos suspendidos y por mineralización) para el Río Cucabaj, ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Departamento del Quiché, debido a que es una de las tres fuentes principales de abastecimiento para más de 9,000 habitantes de la zona urbana. Los parámetros de calidad del agua utilizados para determinar el ICA fueron: porcentaje de saturación de oxígeno, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad y sólidos disueltos. Los resultados del monitoreo de abril de 2012 a enero de 2013 permitieron clasificar la calidad del recurso como media-buena, que va de contaminada a levemente contaminada por materia orgánica debido a la cantidad de coliformes totales, por lo que se le debe aplicar tratamiento de potabilización. Además, se considera necesario desarrollar, utilizar e integrar índices biológicos, como macroinvertebrados, fitoplancton y bioensayos eco-toxicológicos, los cuales son más sensibles a cambios en calidad de agua, para obtener resultados rápidos en el caso de contaminación de cuerpos de agua.

7. Conclusiones y recomendaciones

En el país, el deterioro de la calidad del agua es ya un gran problema y, resolverlo, requerirá de fuertes inversiones financieras. Los efectos en la salud pública, en los ecosistemas acuáticos y en las actividades económicas del país son evidentes. A pesar de que se cuenta con la normativa específica desde 1989, que exige el cumplimiento de cierta calidad del efluente que se descarga a los cuerpos de agua o a los sistemas de alcantarillado, su cumplimiento es parcial. Pareciera que la historia de los países desarrollados cuyos cuerpos de agua en algún momento estuvieron deteriorados, y que luego tuvieron que invertir grandes cantidades de recursos financieros para recuperarlos, se repetirá en nuestro país. Sin embargo, no se cuenta con los recursos financieros para hacerlo o la voluntad política y fortaleza institucional para ejercer el cumplimiento de la ley y, en consecuencia, pareciera que su resolución será a muy largo plazo o, quizás, sólo parcial. Además, no es falta de tecnología de tratamiento, sino falta de inversiones lo que impide mejorar la calidad de agua de los cuerpos de agua.

Además, se requiere que la población en general reconozca que el tratamiento de las aguas residuales tiene un costo y que quien las contamina debe pagar por limpiarlas. Sin embargo, en el país todas las municipalidades subsidian el servicio de abastecimiento de agua para consumo humano y, en consecuencia, no tienen recursos financieros para prestar un adecuado servicio y, mucho menos, para tratar las aguas residuales generadas. Por lo tanto, hay necesidad de sensibilizar a la población en la necesidad de cumplir con la legislación a través de programas de educación con creación de nuevo currículo, priorizando la calidad de agua y su comprensión para estudiantes y población en general, entre otras acciones.

Van de Wauw *et al*. (2010) indicaron que la falta de un estudio de base detallado y los hasta ahora limitados esfuerzos de monitoreo demuestran que la legislación del país puede ser mejorada, y que los términos de referencia de los estudios del impacto ambiental (EIA) y de monitoreo deben ser similares a los que se llevan a cabo en países en desarrollo. Por otro lado, el hecho de que datos e información públicos hicieron posible este estudio demuestra la importancia de la disposición pública de datos confiables e independientes. Por lo tanto, se debería plantear la necesidad de organizar un sistema de monitoreo verdaderamente independiente, transparente y científicamente establecido a fin de cumplir con esos requerimientos.

8. Agradecimientos

Se agradece el apoyo de las siguientes personas que fueron entrevistadas: Ernesto Moscoso, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Ever Sánchez, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), Silvia Montepeque, Secretaría General de Planificación (SEGEPLAN) y Álvaro Solano, Organización Panamericana de la Salud (OPS)

Referencias bibliográficas

Aldana, M.L., y Zacarías, E.E. (2014). Índice de calidad de agua del Río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Quiché y la influencia en los costos del tratamiento de potabilización. *Revista Ciencia, Tecnología y Salud,* Vol. 1, Núm. 1. pp. 21-34. ISSN:2410-6356

Asociación Guatemalteca de Ingeniera Sanitaria y Ambiental (AGISA) (2016). *Conclusiones y Recomendaciones del VI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.* Ciudad de Guatemala: AGISA, 2 al 4 de junio de 2016. Cap. 8, p. 18.

Bisinoti, M.C., & Jerdim, W.F. (2004). O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente. *Química Nova* 27(4), 593-600.

Bosch, C., Hommann, K., Sadoff, C. y Travers, L. (1999). *Agua, saneamiento y la pobreza.* Washington, DC: Banco Mundial.

Castellanos E.J. (2013). ¿Cómo estará el entorno ambiental en Guatemala en las siguientes décadas? *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala,* Núm. 26, pp. 51-55.

Chandra, S., Dix, M., Rejmánková, E., Mosquera, V., Girón, N. y Heyvaert, A. (2013). *El estado ecológico actual del lago Atitlán y el impacto de la entrada de aguas residuales: recomendación para exportación de las aguas residuales de la Cuenca para restaurar el lago.* Presentado a la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán. Sololá, Guatemala.

Coc, E.F. y Vanegas, E.A. (2015). Efecto del uso de la tierra sobre la erosión y sedimentación de los suelos en El Estor, Izabal. *Revista Ciencia, Tecnología y Salud,* Vol. 2, Núm. 1. pp. 39-45. ISSN:2410-6356

Dirección de Investigación en Derechos Humanos (2014). *El acceso al agua potable como un derecho humano en Guatemala.* Guatemala: Procurador de los Derechos Humanos.

Ducci, J. (2007). *Acceso al agua potable, saneamiento y pobreza.* IV Encuentro de Expresidentes de América Latina. Foro social de Sao Paulo 2009. Recuperado de http://www.corporacionescenarios.org

Foster V. & Araujo C. (2004). *Does infrastructure reform work from the poor? A case study of Guatemala.* Washington, DC: World Bank.

Fundación para la Conservación del Agua en la región Metropolitana de Guatemala (FUNCAGUA) (2016). *Plan de Conservación.* Guatemala: FUNCAGUA.

Guerra, A.E. y Alvarado, M.S. (2006). *De la Sierra de Las Minas al valle de San Jerónimo: acciones locales para la gestión integrada del agua.* Costa Rica: CATIE; Guatemala: Fondo del Agua del Sistema Motagua Polochic.

Guerra, A.E. y Reyes, L. (2008). *Experiencia de participación y contribuciones de los recursos naturales en la subcuenca del Río Ixtacapa.* Guatemala. Lecciones y reflexiones. *Revista Mesoamericana de la Conservación,* Año 1, Núm. 2. ISSN: 1998-0493 = Yu´am.

Hernández, E. (2013). *Análisis de Contaminantes Emergentes de Tipo Farmacéutico (Acetaminofeno, Cafeína, Dexketoprofeno, Diclofenaco sódico, Fenilefrina e Ibuprofeno) en el Agua del Río Las Vacas (municipio de Guatemala) y Río Villalobos (municipio de Amatitlán).* Tesis para obtener el título de Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (IARNA-URL) (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.* Guatemala. ISBN: 978-9929-587-71-7

Instituto Nacional de Bosques (INAB) (2016). *Boletín Estadístico 1998-2016.* Departamento de Incentivos Forestales. Guatemala.

Instituto Nacional de Estadística (INE) (2016). *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014.* Tomo I. Guatemala: INE.

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (2017). *Informe de Labores 2016.* Guatemala: ICC. 97 pp.

Lentini, E. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes del éxito.* Santiago de Chile: CEPAL.

López, M., Barrillas R. y López J. (2015). *Estructura, composición y dominancia de las cianobacterias en el Lago de Amatitlán y su relación con la pérdida de diversidad de fitoplancton.* Guatemala: Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala y Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.

Matta, V. L., Lange-Cruz, K.J., Medina-Samayoa, N. G.,

Martínez-Castellanos, E.M., Hidalgo-Letona, E.L., Nave, F., Schneider-Paiz, R.E. (2017). Cambios en la frecuencia de infección por *Helicobacter pylori* en niños guatemaltecos durante 10 años. *Revista Ciencia, Tecnología y Salud,* Vol. 4, Núm. 1. ISSN:2409-3459

Mayorga, P. (2009). Toxicidad y potencial eutroficante de aguas dulces y marinas en Guatemala. En *Guatemala: Servicios y productos ambientales.* Citado en IARNA/URL (2009). *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo.* Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Serie Perfil Ambiental No. 11, p. 136.

Mayorga, P. (2014). *Determinación de la toxicidad de un extracto acuoso de biomasa de cianobacterias colectadas en el centro del Lago de Atitlán en agosto 2013, con el crustáceo anacostraco* Thamnocephalus platyurus. Presentado en el 1er Congreso Nacional de Geociencias Ambientales, Antigua Guatemala, 27 y 28 de noviembre de 2014.

Mayorga, P. (2016). *Toxicidad de agua subterránea en el Valle de Guatemala.* Presentado en el VI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Ciudad de Guatemala: AGISA, 2 al 4 de junio de 2016.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2015). *Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Guatemala.* Guatemala: MARN. 224 pp.

Ministerio de Salud y Asistencia Social (MSPAS), Instituto Nacional de Estadística (INE), ICF International (2017). *Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil 2014-2015.* Informa final. Guatemala: MSPAS/INE/ICF.

Mosquera, V. (2015). Análisis de la calidad de agua 2008-2013: Lago de Amatitlán (sin referencia).

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2016). Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO, en el marco de las actividades del Programa Global de Iniciativas del Agua (GPWI) de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

Pérez-Sabino, F., Valladares-Jovel, B., Hernández, E., Oliva, B. Del Cid, M., Jayes-Reyes, P. 2015. Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán. *Revista Ciencia, Tecnología y Salud,* Vol. 2, Núm. 2. pp. 127-134. ISSN:2410-6356

Prensa Libre. 16 de noviembre de 2017:18.

Scheuhammer, A.M., Meyer, M.W., Sandheinrich, M.B., & Murray, M.W. (2007). Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals and fish. *Ambio*, 36(1), 12-18.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) (2016). *Estrategia de articulación de la Agenda de Objetivos de Desarrollo Sostenible con el Plan y la Política Nacional de Desarrollo K´atun. Nuestra Guatemala 2032.* Guatemala: Comisión de Alineación, Seguimiento y Evaluación/Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) (2017). Estructura de la Estrategia de implementación de las Prioridades nacionales de desarrollo. Guatemala: SEGEPLAN/Sistema de Consejos de Desarrollo.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) (2017). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Metas priorizadas.* Guatemala: SEGEPLAN/Sistema de Consejos de Desarrollo.

Siguí, N. L. (2016). ¿Por qué continúa la contaminación de aguas en Guatemala? *Revista Ciencia, Tecnología y Salud,* Vol. 3, Núm. 2. ISSN:2410-6356.

Törökné, A.K. (1999). A new Culture-Free Microbiotest for Routine Detection of Cyanobacterial Toxins. *Environmental Toxicology,* 14(5): 466-472.

United Nations Environment Programme (UNEP) (2013). *Global Mercury Assessment 2013: Sources, emissions, releases and environmental transport.* Geneva, Switzerland: UNEP Chemicals Branch,.

Van de Wauw, J., Evens, R. y Machiels, L. (2010). ¿Está la sobre extracción de agua subterránea y la reducida infiltración contribuyendo a problemas de salud relacionados con el Arsénico cerca de la mina Marlin (Guatemala)? En *Goldcorp out of Guatemala.* Recuperado de https://goldcorpoutofguatemala.com/reports-studies/informes-estudios/

Honduras

El acceso al agua potable, segura para consumo humano, constituye una prioridad nacional para un mejor nivel de vida de la población. Según estudios de la UNICEF, **Honduras** posee grandes reservas hídricas que facilitarían que a corto plazo pueda ampliarse la cobertura del abastecimiento de agua para incorporar a todos los hogares que carecen de este servicio. Sin embargo, llama a la reflexión que la mayoría de las ciudades grandes y pequeñas poseen un servicio de agua racionado, y el alcance del área de servicio es limitado.

Lago Yojoa, localizado entre los departamentos de Comayagua, Cortés y Santa Bárbara, Honduras © iStock

Calidad del agua en Honduras

Marco Antonio Blair, Pedro Ortiz, Mirna Argueta y Luis Romero

Introducción

El acceso al agua potable, segura para el consumo humano, constituye una prioridad nacional ya que influye y es factor para el mejoramiento del nivel y la calidad de vida de la población. En los últimos tres quinquenios, Honduras tuvo importantes progresos en relación con el acceso al agua potable y al saneamiento, logrando cumplir las metas planteadas en el Objetivo 7 de los ODM. No obstante la prioridad, la inversión en el sector se ha reducido a menos de 1.0% del PIB.

En el presente documento se realiza un análisis de la situación de la calidad del agua en Honduras, con base en revisiones bibliográficas, entrevistas y experiencias de campo. En el Capítulo 1 se exponen los aspectos generales sobre coberturas de Agua Potable y Saneamiento (APS) y problemas que afectan la calidad del agua. En el Capítulo 2 se revisan la gobernanza de la calidad del agua, el marco institucional y legal, entre otros. En el Capítulo 3 se analizan los problemas principales que impactan la calidad del agua en el país. El Capítulo 4 trata los aspectos sociales y económicos de la calidad del agua. El Capítulo 5 trata sobre la capacidad del país para enfrentar los retos ODS-6 de la Nueva Agenda 2030 de la ONU. En el Capítulo 6 se comunican las experiencias exitosas del país en la mejora de la calidad del agua mediante planes de restauración y protección de cuencas. Finalmente, se presenta el Capítulo 7 con las conclusiones y recomendaciones principales que emanan de la revisión planteada sobre la calidad del agua para consumo humano.

1. Aspectos generales

Desde mediados de la década de 1980, Honduras ha logrado avances muy importantes en la cobertura de los servicios de agua y saneamiento, mismos que se estiman en 86% para el acceso al agua potable y 78% para el acceso a saneamiento. Sin embargo, de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda de 2013 (INE, 2013), la tasa de crecimiento es de 2.0% anual, lo que conlleva a un continuo desfase en las coberturas de los servicios públicos, particularmente de agua y saneamiento.

La transformación del sector APS ha implicado la formulación y aprobación de las políticas del sector, el desarrollo de estrategias y planes nacionales, así como la definición de objetivos y metas sectoriales. De esta manera, el crecimiento en el acceso a estos servicios

Marco Antonio Blair thonyblair@yahoo.co.uk Coordinador del capítulo, Ingeniero Civil, MSc, MI, Academia Nacional de Ciencias Honduras, Instituto Nacional de Estadísticas, Punto focal del Agua. **Pedro Ortiz** pedroeortizb@gmail.com Ingeniero Civil, Secretario Ejecutivo CONASA, Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados. **Mirna Argueta** mirna.n.argueta@gmail.com Lic. Química y Farmacia, Maestría Ingeniería del Agua, Directora Nacional Calidad de Agua SANAA. **Luis Romero** laroque07@yahoo.com Ingeniero Civil, anterior Coordinador Técnico CONASA.

es acompañado con la decisión del Estado de modernizar el sector a través de la promulgación de la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento en 2003 (SESAL, 2003).

1.1 Antecedentes

La revisión de los antecedentes básicos que son aplicables al presente estudio es como se expone a continuación.

1.1.1 Ubicación y demografía

La República de Honduras (112,492 km^2) está ubicada entre los 12° 58' y los 17° 30' Latitud Norte; y los 83° 45' y los 89° 22' Longitud Oeste (MOSEF/GIZ/GFA, 2013).

1.1.2 Demografía

De acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda 2013, Honduras contaba en ese año con una población total de 8.3 millones de habitantes distribuidos en 2.2 millones de viviendas. La población es muy joven, concentrándose en la franja de 10 a 19 años 24.9% de la población y 23.2% de la población es menor de 10 años. Un resumen de los datos de interés para los efectos particulares del presente documento se muestra en la **Tabla 1.**

1.1.3 Cobertura del servicio de agua potable

La cobertura del servicio de agua en el país ha aumentado en forma significativa durante las últimas décadas, y tal como se muestra en la **Tabla 2**, en relación con los datos de cobertura por vivienda, ésta alcanza 85.2%.

1.1.4 Cobertura del servicio de saneamiento

La cobertura del servicio de saneamiento ha aumentado de manera significativa en las últimas décadas, aunque no al mismo ritmo del crecimiento observado en el sector de agua potable. Esa cobertura es 54.9% de la población total, mostrando una brecha de 30.3% de las viviendas que reciben agua, pero carecen de sistema apropiado para disposición de sus aguas residuales. En la **Tabla 3** se presentan los datos de cobertura por ámbito urbano y rural.

Tabla 1. Honduras, Población y Vivienda 2013

Ámbito	Población total	Hombres	Mujeres	Vivienda
Nacional	8,303,772	4,052,316	4,251,456	2,158,042
Área Urbana	4,436,223	2,095,408	2,340,815	1,189,753
Área Rural	3,867,549	1,956,908	1,910,641	968,289

Fuente: XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2013, INE.

Tabla 2. Honduras, Cobertura de Agua Potable 2013

Ámbito	Vivienda total	Con Agua Potable	Sin Agua Potable
Nacional	2,158,042	1,838,527	319,515
Área Urbana	1,189,753	1,026,247	163,506
Área Rural	968,289	812,280	156,009

Fuente: XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2013, INE.

Tabla 3. Honduras, Cobertura de Saneamiento 2013

Ámbito	Vivienda total	Con Saneamiento	Sin Saneamiento
Nacional	2,158,042	1,184,324	973,718
Área Urbana	1,189,753	583,051	606,702
Área Rural	968,289	601,273	367,016

Fuente: XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2013, INE.

Con los datos del cuadro anterior, y con una dotación media de 210 LPPD, la generación de aguas residuales domésticas, en el ámbito nacional, es del orden de 361.2 millones de m^3 anuales, de los cuales 57.9% de esa descarga corresponde al área urbana y, consecuentemente, 42.1% corresponde al área rural.

1.2 Principales problemas en la calidad del agua

La cobertura de los servicios de agua y saneamiento ha sido incrementada en forma significativa; sin embargo, no ha ocurrido así en lo atinente a la calidad del agua. De acuerdo con registros actualizados de la SESAL de 2015, los principales problemas que afectan la calidad del agua son los relacionados con las características organolépticas y bacteriológicas.

1.2.1 Desforestación

Uno de los principales problemas del país es la creciente desforestación que aumenta la tasa de deterioro de los bosques de varias de las cuencas hidrográficas con consecuencias desfavorables en la cantidad y calidad del agua.

a. La desforestación legal e ilegal se da para la explotación comercial de la madera, en el caso de los empresarios dedicados a este rubro, mientras que en el caso de los colonos de la cuenca es para la extracción de leña como combustible para cocinar. Debido a la desforestación hay un incremento de la erosión con gran arrastre de sedimentos y materia orgánica que azolvan los cauces de ríos, alterando la turbiedad y color del agua, olor y sabor.
b. La quema e incendios forestales en Honduras es otra causa que afecta la calidad del agua, incrementando la temperatura en los cuerpos de agua, especialmente los embalses de suministro de agua.
c. La agricultura migratoria es otra de las causas que afecta la calidad del agua debido a la destrucción del bosque junto con la ganadería intensiva. Esta práctica tradicional de talar porciones del bosque y luego quemarlas después de la cosecha para "limpiar" el terreno con el fin de prepararlo para la siembra es cíclica, ya que después de cierta cantidad de siembras y cosechas, los campesinos abandonan los terrenos y migran a otra área que es sometida al mismo proceso de desforestación. Este problema se agrava en zonas con pendientes fuertes.
d. La ganadería extensiva, la ganadería menor y las granjas avícolas, así como la agricultura migratoria, también resultan en una gran fuente de contaminación en el país, pues todas las descargas de aguas residuales que se generan en las haciendas son vertidas al ambiente, sin control, incluyendo las heces fecales del ganado y granjas.
e. La plaga nociva del gorgojo descortezador que ataca el pino ha provocado daños serios al bosque, obligando al corte de los árboles afectados, provocando serios impactos negativos al ambiente. De acuerdo con los datos del Instituto de Conservación Forestal (ICF) (CONADEH/MOSEF-UE/Gobierno de la República de Honduras/ICF, 2016), esta plaga ha afectado 381.3 miles de ha de bosque de coníferas, ubicadas en el centro del país. El impacto más relevante del ataque del gorgojo descortezador del pino es sobre los bosques en las áreas de las zonas productoras de agua, el cual se considera que es el impacto más significativo y alarmante, ya que afecta a la vida misma por su derecho al agua y saneamiento.

1.2.2 Descargas de aguas residuales

La disposición inadecuada de excretas y aguas residuales constituye otra de las principales y más serias causas que contribuyen al deterioro de la calidad del agua, conduciendo a la proliferación de enfermedades y al incremento de la morbilidad y la mortalidad infantil en el país. Las enfermedades de origen hídrico siguen representando el primer lugar de morbilidad y el segundo en tasas de mortalidad infantil.

La magnitud de la población sin servicio de saneamiento representa 45.1% de las viviendas, con una brecha de 30.3% de las viviendas que reciben agua, pero carecen de un sistema apropiado para la disposición de sus aguas residuales. Esto representa una descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento, del orden de 361.2 millones de m^3 en el ámbito nacional, de los cuales 209.3 y 151.9 millones de m^3 son vertidos en el área urbana y el área rural, respectivamente. Las descargas de aguas residuales están afectando los esteros, mares y lagunas de ambas costas, provocando daños en esos ecosistemas.

1.2.3 Servicio racionado y deficiencias de presión

Según estudios de la UNICEF apoyados en informes de su representación en Honduras en 2017, el país posee grandes reservas hídricas que facilitarían que a corto plazo se pueda ampliar la cobertura de los sistemas de abastecimiento de agua para incorporar a todos los hogares que carecen de este servicio. Sin embargo, en la mayoría de las ciudades grandes y pequeñas el servicio de agua es racionado, y el alcance del área de servicio se ve limitada por la deficiencia de presiones en la red. Además, muchas bacterias del agua soportan las presiones elevadas, dando lugar a la generación y sobrevivencia de bacterias en la tubería y aun a la bacteria post-cloración.

La población que es beneficiada con un suministro de agua mediante plantas potabilizadoras alcanza 51% en el área urbana y 14% en el área rural, y al menos 50% de la población restante recibe servicio de agua sometida únicamente a procesos de desinfección con cloro.

1.3 Objetivos y alcance del capítulo

El objetivo principal es divulgar el resultado de la situación del sector del agua potable en términos de calidad, analizado desde el punto de vista de la academia, con el propósito de establecer líneas de base o de partida para enfocar políticas y estrategias a nivel de Gobierno central y de gobiernos municipales, de acuerdo con la Ley Marco de Agua y Saneamiento y su Reglamento, emitida en 2003, que establece todo el marco institucional y legal para la mejora significativa de la calidad del agua.

2. Autoridades y gobernabilidad de la calidad de agua

La Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento y su Reglamento General establecen las bases del proceso de modernización del sector, dentro de cuyos objetivos principales se plantea el aseguramiento de la calidad del agua y su potabilidad, garantizando que su consumo sea saludable para las personas.

2.1 Marco institucional

Esta nueva Ley modifica, en general, la autoridad y gobernabilidad del sector relacionado con el agua potable y saneamiento, lo que es mostrado en la **Tabla 4.**

En el sector se cuenta con la Asociación Hondureña de Juntas Administradoras Sistemas de Agua (AHJASA), cuyo objetivo es mejorar la calidad del agua en las comunidades miembros, y fortalecer el desarrollo de las asociaciones emergentes mediante la capacitación e integración nacional, brindando servicios de asesoramiento y procesos de organización de JAA. También cuenta con un Centro de Capacitación y módulos especiales de operación y mantenimiento; ofrece cloro, cloradores, comparadores de cloro y asistencia técnica para monitoreo de la calidad del servicio, entre otros.

En la **Figura 1** se muestra la jerarquía de la autoridad dentro de la institucionalidad de conformidad con la Ley Marco.

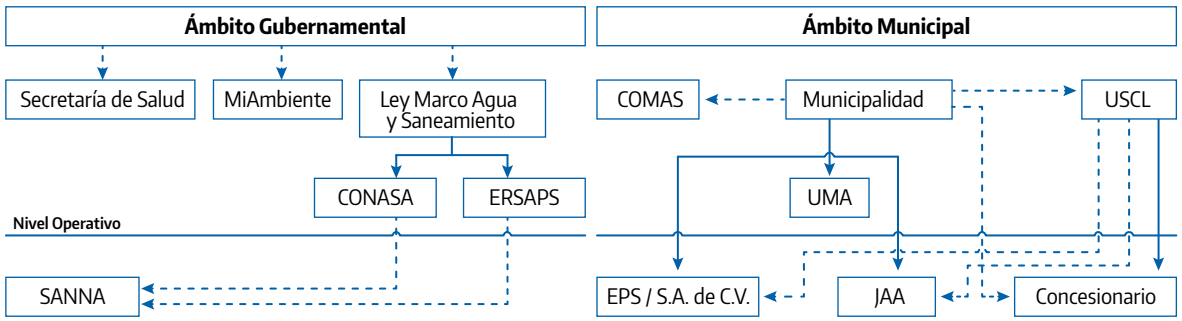
En función de la modalidad de la prestación de los servicios, los Ente Prestador de Servicios (EPS) de APS están agrupados como se muestra en la **Tabla 5.**

Tabla 4. Institucionalidad y Gobernabilidad Sector APS

Ámbito	Institucionalidad	Ente Prestador de Servicios
Gubernamental	Secretaría de Salud SERNA (MiAMBIENTE) Comisión Nacional de Agua y Saneamiento (CONASA) Ente Regulador de los Servicios de Agua y Saneamiento (ERSAPS)	SANAA
Municipal	Municipalidad (Titular servicios de APS) Comisión Municipal de Agua y Saneamiento (COMAS) Unidad de Supervision y Control Local (USCL) Unidad Municipal Ambiental (UMA)	Oficina Municipal Servicios Públicos EPS JAA Sociedad Anónima Empresa concesionaria

Fuente: *Plan de Vigilancia de la Calidad del Agua en los Municipios Priorizados en el Plan Nacional de Enfermedades Desatendidas*, OPS/OMS/SESAL, octubre de 2012.

Figura 1. Autoridad y Gobernabilidad del Sector APS



Fuente: Plan de Vigilancia de la Calidad del Agua en los Municipios Priorizados en el Plan Nacional de Enfermedades Desatendidas, OPS/OMS/SESAL, octubre de 2012.

Tabla 5. Modalidad de Gobernabilidad de los EPS

Nivel de Atención	Autoridad	Ente Prestador del Servicio
Gobierno Central	SANAA	Tres Gerencias Regionales
Gobierno Municipal	Municipalidad	Departamento Municipal de Obras Públicas Departamento Municipal Servicios Públicos División Municipal de Agua y Saneamiento Junta Municipal de Agua y Alcantarillado
	Ente Prestador de Servicios	Unidad Municipal Desconcentrada Sociedad Anónima de Capital Variable Empresa concesionaria
Nivel Comunitario	Junta de Agua	Junta de Agua Local

Fuente: Manual para la Identificación e Implementación de Acciones Tercerizantes para EPS de APS, ERSAPS, marzo de 2011.

2.2 Marco legal

Los instrumentos legales que resaltan el apoyo de la legislación del sector en cuanto a la calidad de agua para consumo humano, incluyen, entre otros:

- Constitución de la República
- Ley General del Ambiente y sus Reglamentos
- Código de Salud
- Reglamento de Salud Ambiental
- Ley Marco de Agua Potable y Saneamiento, y su Reglamento
- Norma Técnica Nacional para la Calidad de Agua Potable, NTN-AP
- Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario, NTAR-AS

La autoridad superior que rige el marco legal relacionado con la calidad del agua es comandada por la Secretaría de Salud (SESA), incluyendo la vigilancia de la calidad del agua.

2.2.1 Código de Salud

El Código de Salud otorga la responsabilidad a la SESAL de, *"por medio del órgano correspondiente efectuar el control y vigilancia sanitaria de las aguas y establecer las características deseables y admisibles que debe tener"*. De igual manera, le otorga la reglamentación de todo lo relacionado con el manejo y disposición de excretas, aguas negras, pluviales, así como la vigilancia y control técnico de los alcantarillados y efluentes de éstos.

2.2.2 Norma Técnica Nacional para la Calidad de Agua Potable

El objetivo de la Norma es *"proteger la salud pública mediante el establecimiento de los niveles adecuados o máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes de los sistemas de abastecimiento de agua."*

Esta Norma establece que la SESAL efectuará el control y vigilancia sanitaria de las aguas y establecerá sus características deseables y admisibles. La NTN-AP establece los parámetros máximos admisibles de calidad de agua para consumo humano, la frecuencia de los muestreos y las metodologías o rutinas de análisis más adecuadas. Con base en la frecuencia puede establecerse un programa de monitoreo.

2.2.3 Reglamento General de Salud Ambiental

Este Reglamento (SESAL, 1998) tiene como finalidad desarrollar el conjunto de reglas para hacer efectivo el cumplimiento de las disposiciones atinentes a la calidad del agua, señalando que tiene que cumplir las características físicas, químicas y biológicas, según la NTN-AP.

El Reglamento da énfasis a la salud ambiental velando por la aplicación de las normas técnicas y la solución de problemas específicos de salud ambiental o saneamiento del medio. Indica la prohibición de descarga de aguas residuales sin tratamiento de cualquier tipo y tamaño, en las riberas de los ríos, quebradas, lagos, lagunas, embalses, corrientes de invierno y cercanías de pozos de agua para consumo humano, así como en las playas de los mares y esteros cercanos a las ciudades.

2.2.4 Normas Técnicas para las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario

Tal como se señala en su articulado inicial, su aplicación es competencia de la SESAL, de la SERNA y de la Secretaría de Gobernación, Justicia y Descentralización, teniendo como objetivos regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores y alcantarillado sanitario, y fomentar la creación de programas de minimización de desechos, la instalación de sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales descargadas al ambiente.

La protección de las fuentes de agua, superficiales y subterráneas, es el quehacer fundamental que se persigue a través de esta normativa, dado que la preservación de las fuentes contra la contaminación por el vertido de descarga de aguas residuales es fundamental para la salud ambiental y, en consecuencia, para la preservación de la calidad del agua destinada al consumo humano, uso doméstico y a la agroindustria, entre otros.

2.3 Relaciones con ONG, universidades (investigación científica)

La mayor interrelación entre ONG, universidades y, en general, desarrolladores de proyectos de agua se realiza a través de la Red de Agua y Saneamiento de Honduras (RAS-HON).

- La RAS-HON es una instancia de diálogo y consulta de todas sus instituciones miembros, que está integrada por todas las organizaciones e instituciones y personas colaboradoras, de carácter social, privado, público nacional e internacional que ejecuten y desarrollen planes y proyectos del sector de agua y saneamiento de Honduras. La RAS-HON cuenta con el Centro Hondureño de Recursos en Conocimiento e Información en Agua y Saneamiento (CHRECIAS) como ejecutor para cumplir con las estrategias de gestión del conocimiento y de la información, sobre todo en calidad de agua.
- La Fundación Agua para Todos (FUNDAPAT), creada como una iniciativa de la UNICEF para darle sostenibilidad al programa y ampliarlo a nivel nacional, el SANAA, la Cámara de Comercio y de Industria de Tegucigalpa y de la Asociación de Medios de Comunicación (AMC), ha logrado extender servicios de agua potable a 105,000 personas en 104 comunidades.

2.3.1 Universidades

De las universidades existentes, sólo la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad Agrícola Panamericana Zamorano forman parte de la RAS-HON con aportes muy escasos al tema de calidad de agua.

La Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) posee un laboratorio de calidad de aguas donde se realiza análisis de calidad de agua y de aguas residuales, entre otros. Sin embargo, su rol principal es de carácter comercial y no se conserva algún tipo de banco de datos. La Universidad Católica de Honduras (UNICAH) posee la carrera de Ingeniería Ambiental, pero carece de laboratorio de calidad de agua donde pueda ponerse en práctica la enseñanza de la metodología de análisis de calidad y la creación de bancos de datos.

2.3.2 Investigación científica

La investigación científica es escasa y marginal, y se lleva a cabo sólo cuando se presentan casos de

emergencia, y dependiendo del uso del agua en el cual se presente dicha situación.

El Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO) es una Dirección de la Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas,[1] cuya misión es ser el organismo técnico-científico superior del Estado de Honduras, en materia de contaminación ambiental, realizando su labor mediante la investigación, prestación de servicios de laboratorio, vigilancia ambiental y la gestión de productos químicos, con el propósito de fortalecer la gestión ambiental de Honduras basados en principios de responsabilidad, honestidad, ética e integridad.

Dentro del ámbito institucional, solamente los EPS de APS, con mayor capacidad de recursos humanos y materiales, realizan análisis de calidad de agua para efectos de control de calidad, como son el SANAA y Aguas de San Pedro (ASP), entre otros. Esas empresas suelen evaluar calidad de agua para efectos de diseño y construcción de plantas potabilizadoras nuevas y ampliación de existentes.

Se carece de evidencia de investigación científica por parte de las universidades y, en el caso de la Universidad Agrícola Panamericana, existe monitoreo de calidad de agua para control de calidad para consumo humano.

2.4 Monitoreo y base de datos

a. De acuerdo con la Ley Marco de Agua y Saneamiento y su Reglamento, el ERSAPS[2] ejecuta la función de regulación a través de las USCL, la cual tiene la responsabilidad de velar por el cumplimiento de la vigilancia de la calidad del agua, por medio del análisis de calidad que debe realizar el EPS de APS, y proporcionar dichos registros a la oficina central del ERSAPS, donde se lleva un banco de datos por cada USCL municipal. Aún no se cuenta con un registro completo de EPS, incluyendo juntas de agua.
b. El CESCCO cuenta con un laboratorio de calidad de agua para consumo humano a través del cual realiza actividades de monitoreo comercial de manera puntual y cuando se presentan casos de emergencia. A través de este laboratorio, brinda servicios analíticos en el área fisicoquímica en los diferentes tipos de agua –superficial, subterránea y residual–. No obstante que el CESCCO posee la mejor capacidad en materia de monitoreo, no hay evidencia de la existencia de bancos de datos.
c. Solamente los EPS institucionalmente fuertes, desde el punto de vista de recursos humanos y económicos, poseen capacidad para realizar monitoreo y creación de bancos de datos como son el SANAA, ASP, Aguas de Cortés, Aguas de Choloma, y Servicios Aguas Comayagua (SAC).

3. Principales problemas que impactan la calidad del agua

En términos generales, en el ámbito nacional, el monitoreo de fuentes superficiales y aguas subterráneas para la identificación de los problemas que impactan la calidad del agua para consumo humano en Honduras solamente ha sido posible a través de análisis de calidad del agua realizados por las instituciones que han llevado a cabo el desarrollo de proyectos de suministro de agua que incluyen la instalación de plantas potabilizadoras.

Otro tipo de análisis que realiza de manera rutinaria el SANAA es el monitoreo de la calidad de agua cruda en los embalses para suministro de agua en la capital del país.

3.1 Eutrofización

Las causas principales para la eutrofización acelerada en Honduras son la desforestación, los incendios forestales y la abundante actividad agropecuaria en las cuencas destinadas como zonas de reserva para el suministro de agua. La desforestación ha aumentado la generación de sedimentos por la erosión, mientras que los incendios forestales generan abundantes residuos de cenizas y carbón, y la actividad agropecuaria ha dado lugar a la producción de residuos orgánicos con altos contenidos de nitrógeno y sus derivados, potasio, fosfatos, carbonatos y cloruros. También se tiene descarga de aguas residuales y efluentes de algunas plantas depuradoras.

Estos problemas, por ejemplo, surgidos en el Embalse Los Laureles en la capital para el suministro de agua, llevaron a la necesidad de incluir

1. http://www.miambiente.gob.hn/cescco/

2. http://www.ersaps.hn/

un proceso de aeración en la planta potabilizadora con una pre-cloración y alcalinización previos para ajustar la calidad del agua cruda (Aceituno, 2016) y la aplicación de carbón activado, y se construyó una toma flotante de agua cruda para toma directa del epilimnio.

Se ha notado la estratificación térmica en los lagos, lagunas y embalses, y hay proliferación de lirio acuático o Jacinto de agua, mismo que ha sido controlado mediante extracción manual, principalmente en los embalses destinados al suministro de agua.

3.2 Contaminantes naturales

Entre los contaminantes naturales que más afectan la calidad del agua en el país están los huracanes que transportan diversos materiales y elementos que son llevados a ciertas áreas que son causa de contaminación.

No obstante que el huracán *Mitch* dejó secuelas como para generar investigaciones importantes, aún no se cuenta con registros de campo con base en análisis de laboratorio que permitan determinar y clasificar los contaminantes naturales que afectan los cuerpos de agua, entre ellos, las corrientes de aire. En temporada de lluvia ciclónica, estas corrientes de aire arrastran elementos que generan efectos contaminantes, erosión y plantas tóxicas, entre otros.

Por evaluaciones especificas llevadas a cabo en proyectos para suministro de agua de fuentes superficiales y perforación de pozos para aguas subterráneas, así como en proyectos hidroeléctricos, se ha encontrado contaminación por hierro, magnesio y manganeso (Aceituno, 2016). También se ha encontrado calcio, flúor y sulfatos.

3.3 Polución

La causa principal de la polución de las fuentes de agua es por la descarga abundante de aguas residuales domésticas e industriales al ambiente sin tratamiento, la que es mayor en las principales ciudades del país, en particular, en la Costa Norte donde está la zona industrial.

De acuerdo con estudios del CESCCO,[3] se reconocen 19 ríos muy contaminados, siendo el Río Chamelecón, ubicado en el Valle de Sula, el más contaminado por la gran cantidad de descargas industriales que recibe. El Río Choluteca, que cruza la ciudad capital presenta, altos niveles de contaminación por descargas, en su mayoría, domésticas. Ambos ríos alcanzan la condición de septicidad en la época de verano cuando disminuye el caudal base de los ríos, dando lugar a una mayor concentración de la carga contaminante. En mediciones de oxígeno disuelto realizadas en el Río Choluteca por parte del SANAA entre 1982 y 1986, se encontró que su capacidad de recuperación se alcanza a los 14 km, lo que refleja el nivel de contaminación.

3.4 Agroquímicos

La contaminación por agroquímicos en Honduras principalmente es consecuencia del uso de plaguicidas que son utilizados para prevenir, repeler o controlar plagas de origen animal o vegetal durante la producción, almacenamiento, transporte y distribución de productos agrícolas. Cuando el suelo y las aguas subterráneas se contaminan, las cosechas, el ganado y el agua potable resultan afectados y, en caso de consumo humano, entraña riesgos para la salud, y resulta en eutrofización y contaminación del agua.

Hasta la fecha no se tienen registros de carácter epidemiológico por agroquímicos relacionados con afectación de la calidad del agua, y únicamente el CESCCO ha realizado trabajos de investigación en la zona sur del país ante la ocurrencia de problemas puntuales de contaminación ambiental en general, permitiendo ejecutar las acciones de respuesta por parte de la autoridad competente.

3.5 Metales pesados

La principal fuente de contaminación por metales pesados en Honduras se presenta por la explotación minera, la cual se realiza a cielo abierto para la extracción de oro, en donde se emplean mercurio y cromo. Como no existe un control y manejo adecuado de estos metales, la descarga de estos elementos al ambiente forma depósitos en los puntos más bajos de los lugares donde hay explotación minera, que infiltran con riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

Se han encontrado trazas de cadmio y plomo en fuentes de agua subterránea en la zona central de Honduras (Aceituno, 2016) y arsénico en fuentes de agua subterránea en zonas de la Costa Norte en

3. http://www.miambiente.gob.hn/cescco/

las áreas de cultivo de banano donde se ha practicado fumigación aérea. Existen estudios puntales del CESCCO sobre contaminación por metales pesados, y el nivel de investigación aún carece de intensidad e interés para formar algún banco de datos que permita estudios avanzados para la emisión de estrategias y políticas al respecto.

3.6 Desforestación

La desforestación es un problema serio que crece debido a la tala del bosque, la quema e incendios forestales, la agricultura migratoria y la ganadería intensiva, y más recientemente, por la plaga del gorgojo descortezador. De esta manera, el deterioro de los bosques en las cuencas hidrográficas más grandes e importantes del país ha aumentado con consecuencias desfavorables en la cantidad y calidad del agua (MOSEF/GIZ /GFA, 2013). Debido a la desforestación, el impacto de las lluvias del Huracán *Mitch* provocó arrastre de gran cantidad de sedimentos. Aún no se cuenta con registros de los impactos sobre los diferentes parámetros hidráulicos que permitan evaluar el antes y el después del Huracán *Mitch* en relación con la calidad del agua.

En cuanto a la quema del bosque y los incendios forestales, solamente se cuenta con inventarios anuales, pero aún no se tiene una evaluación de sus consecuencias sobre la calidad del agua. Igual situación ocurre en lo relacionado con la agricultura migratoria, la ganadería intensiva, y las crecientes industrias avícola y piscicultura.

Figura 2. Descarga libre de aguas residuales crudas

Fuente: http://contaminacionenhonduras.blogspot.com/p/agua_653.html

3.7 Salinización

Aunque en Honduras no se cuenta con estudios detallados basados en investigación de campo, se ha identificado que este problema de salinización se presenta principalmente en las zonas costeras, en donde es necesario establecer controles para el uso del agua subterránea, su calidad, el grado de contaminación y las repercusiones del cambio climático en las mismas.

En la zona Sur del país, se han detectado problemas de intrusión salina debido al uso de aguas subterráneas para actividades de agricultura, provocando su contaminación por esta causa debido a la sobreexplotación de éstas para riego e industria (MOSEF/GIZ /GFA, 2013).

3.8 Aguas residuales. Falta de plantas de tratamiento, mal manejo de las plantas existentes. Ciudades y municipalidades sin plantas de tratamiento

Existe una elevada contaminación de los ríos principales y quebradas como resultado de la actividad humana y del crecimiento poblacional, así como el efecto de la creciente urbanización e industrialización y, además, el nuevo fenómeno de la urbanización del área rural.

Conforme al análisis planteado en la cobertura del servicio de saneamiento al año 2015, la generación de aguas residuales al nivel nacional es de 361.2 millones de m^3, pero solamente se brinda tratamiento a 50% del volumen de las aguas residuales del área urbana, es decir, a 104.6 millones de m^3. Esto significa que queda un volumen de 256.7 millones de m^3 que son vertidos directamente al ambiente sin tratamiento alguno. De este volumen, 40.7% de las aguas residuales conforman el volumen vertido en el área urbana, mientras que 59.3% corresponde al área rural (MOSEF/GIZ /GFA, 2013).

Una de las causas principales de contaminación de ríos y quebradas es por la descarga directa de aguas residuales crudas al ambiente en las ciudades más grandes del país, ver **Figura 2,** lo que se ha convertido en un problema serio que hasta la fecha no ha sido solucionado por autoridad competente.

De acuerdo con el PLANASA (CONASA, 2014), a nivel nacional hay un déficit importante de plantas de tratamiento de aguas negras (PTAN). El sistema de tratamiento que prevalece es el de lagunas de estabilización con las etapas de tratamiento pri-

mario y secundario, precedidas de un tratamiento preliminar. No se cuenta con un inventario oficial de auditoría sobre el estado actual de las PTAN existentes, las cuales carecen de buena administración debido a que no se cuenta con programas de operación y mantenimiento.

A nivel nacional, los ríos Choluteca, Chamelecón y Ulúa son más seriamente contaminados por descargas de aguas residuales. Estos ríos reciben las aguas negras de las ciudades de Tegucigalpa y del Valle de Sula, respectivamente, desechos industriales, agroquímicos usados y fabricados en las cuencas, depósitos de basura en sus orillas y sedimentos, entre otros.

3.9 Lixiviación en aguas subterráneas y cuerpos de agua superficiales

En Honduras, el problema de contaminación por lixiviados es por los crematorios, vertederos o botaderos de basura al aire libre, los que no cuentan con sistemas de control, carecen de balsas impermeables, sistemas de canalización y de control que eviten la fuga al entorno y permitan el posterior tratamiento de los residuos. Como este problema está en una relación directa con el tamaño de la población y del desarrollo industrial de cada ciudad, la mayor severidad de este tipo de contaminación es en la ciudad capital y en el Área Metropolitana del Valle de Sula, siguiendo en su orden las ciudades con poblaciones mayores a los 100,000 habitantes (CONASA/PPIAF/BM, 2005).

En algunas ciudades, la cantidad de lixiviados en los vertederos de basuras es tan elevada que rápidamente forma lagunas donde los suelos son impermeables, constituyéndose es una forma de tratamiento natural, lo que ha evitado que se derive hacia correderos o cauces naturales que provocan contaminación superficial.

Se ha identificado también lixiviación en la minería a cielo abierto que se practica ampliamente en las zonas Sur y Centro Oriental del país, en donde se extrae oro en forma artesanal, habiéndose identificado en forma puntual cromo, mercurio y plomo.

3.10 Contaminación emergente

La mayor fuente de producción de contaminantes emergentes en el país son los centros hospitalarios, clínicas odontológicas y laboratorios farmacéuticos, para los que no existe un control adecuado para el manejo y disposición segura de las aguas residuales que generan. La disposición de los residuos farmacéuticos es realizada a los sistemas internos de evacuación, cloacas o albañales conectados a la red municipal del alcantarillado sanitario –donde existe–.

El vertido de plasma sanguíneo, sangre, alcohol, residuos óseos y de carne, residuos de productos químicos de pastillas y sueros, entre otros, son vertidos en los lavaderos del equipo quirúrgico; y en algunos centros hospitalarios grandes e importantes, existen trampas para remoción de sólidos (MOSEF/GIZ /GFA, 2013). Las aguas residuales son descargadas a las redes municipales donde existe sistema de alcantarillado y, en su defecto, al ambiente, en la mayoría de los casos sin tratamiento alguno.

Aún no se cuenta con registros ni estudios de campo respecto de este tipo de contaminación por contaminantes emergentes de las fuentes de agua superficiales.

3.11 Otros: nanomateriales

En los últimos cinco años ha aparecido una nueva clase de contaminante emergente identificado como nanomateriales, que son materiales con propiedades morfológicas más pequeñas que una micra, al menos en una dimensión, y entre ellos están los micro-plásticos o nano-plásticos. Esta nueva clase de contaminantes y su efecto contaminante es muy poco conocida en Honduras por lo que no existe ningún tipo de investigación sobre esta área, a excepción de la que actualmente ha iniciado la Academia Nacional de Ciencias (ANC) de Honduras.

4. Aspectos sociales y económicos

De acuerdo con la Ley Marco en su Artículo 21, primer párrafo, *"el Gobierno Central, las Municipalidades, y las Juntas Administradoras de Agua promoverán la gestión de los recursos para el desarrollo de los servicios de agua potable y saneamiento, estableciendo prioridades de desarrollo de proyectos, criterios de recuperación de la inversión, asignación de capital, los cuales se determinarán en base a estudios socioeconómicos y tomando en consideración la capacidad financiera respectiva."*

El Gobierno de la República ha puesto mucho interés en estas áreas del desarrollo humano, lo que

se demuestra con las acciones que con tal motivo ha tomado. Así, en 2004 puso en vigencia la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento y su Reglamento, cuyo primer considerando señala "que es obligación del Estado emitir Leyes que favorezcan el bienestar económico, político, social y cultural de los hondureños". Luego, en 2006, lanzó el plan estratégico PEMAPS (CONASA/PPIAF/BM, 2005, en el que destacan las estrategias en respuesta a las necesidades del sector APS de Honduras; en 2011 elaboró la propuesta de la Política Nacional para el Sector Agua y Saneamiento, y en 2014 elaboró el PLANASA.

A partir de 2009, el país cuenta con la Ley para el Establecimiento de una Visión de País 2010-2038 y Plan de Nación 2010-2022 (Presidencia de la República, 2010), aprobada mediante Decreto Legislativo 286/2009, en donde se establecen *once lineamientos estratégicos* que definen el rumbo que orienta las políticas públicas, y, por lo tanto, son la base de la política sectorial, de los planes y programas a ser desarrollados.

4.1 Salud

A nivel nacional, los padecimientos de origen hídrico son el principal motivo de morbilidad y el segundo de mortalidad infantil. Las deficiencias sanitarias en la calidad de los servicios de agua potable representan un severo riesgo para la salud; por ejemplo, la falta de continuidad en el servicio, en más de 90% de los casos según la Mesa Sectorial (CONASA, 2014), y las deficiencias en cloración, pues sólo 44% de los sistemas cloran adecuadamente.

Entre las principales normativas, se cuenta con el Código de Salud, aprobado mediante Decreto Legislativo N° 65-91 del 14 de junio de 1991, que establece que la Secretaría de Salud Pública –hoy SESAL–, por medio del órgano correspondiente, efectuará el control y vigilancia sanitaria de las aguas y establecerá las características deseables y admisibles que deben tener.

Mediante el Acuerdo N° 084 del 31 de julio de 1995, a través de la SESAL, el Gobierno Central puso en vigencia la Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable.

4.2 Pobreza

La pobreza afecta seriamente el suministro de agua, pues las personas en situación de pobreza por lo general tienen menor acceso al agua potable. Sin embargo, esta correspondencia no se cumple de esa manera en Honduras, pues tal como se señaló, de acuerdo con los datos antes mencionados, 14.8% de la población carece de servicio de agua potable, de los cuales 13.7% corresponde al área urbana y 16.1% corresponde a población del área rural (INE, 2013).

La población que carece de agua potable en sus viviendas incluye no sólo a la gente pobre, pues en la zona rural existen personas que poseen recursos económicos que les permiten vivir en forma confortable, pero carecen de agua en sus viviendas; y en las zonas urbanas existe un alto porcentaje de población ubicada en los Barrios en Desarrollo que carecen de recursos económicos, pero poseen acceso al agua potable, por conexión domiciliaria, llaves públicas, servicio no convencional por carros cisterna, pozos perforados individuales o comunitarios.

Se estima que la población marginada en las principales ciudades del país alcanza un promedio de 47% (INE, 2013), siendo mayor en el Municipio del Distrito Central.

4.3 Nivel de educación en comunidades. Programas de educación y currículos

En lo atinente al conocimiento básico, en el ámbito del agua es muy amplio porque abarca la salud, la agricultura, la acuacultura, la industria, la energía y los ecosistemas.

a. En el ámbito comunitario, a través del Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS) y del Instituto de Desarrollo Comunitario, Agua y Saneamiento, se desarrollan programas de capacitación en la Operación y Mantenimiento de los acueductos en las comunidades en donde se ejecutan proyectos de agua. Esta capacitación se realiza a través de las JAS e incluye proceso de desinfección del agua mediante cloración, y cuidado de las fuentes para prevenir el deterioro cuantitativo y cualitativo del recurso.
b. La SESAL desarrolló el Plan de Seguridad del Agua (PSA) (OPS, 2012), el cual fue elaborado por el SANAA con apoyo de la OPS y de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS) Capítulo Honduras. El PSA tiene como ejecutores los técnicos de salud ambiental (TSA), cuyo nivel de educación debe ser técnico de laboratorio de agua. La OPS ha fortalecido las capacidades de los EPS mediante la for-

mación de recursos humanos con el apoyo de la AIDIS, particularmente en el componente de calidad de agua.

c. La AHJASA mantiene su programa de capacitación para el desarrollo de eventos de capacitación, seminarios talleres, encuentros y asambleas desde el nivel local, municipal, departamental, y nacional.

d. La UNICAH, dentro del pénsum curricular, tiene la carrera de Ingeniería Ambiental a nivel de licenciatura, cuya orientación incluye el tema del diseño de plantas potabilizadoras y desinfección, faltando la parte práctica de monitoreo de calidad de agua.

4.4 Género

Se ha aceptado el papel preponderante que desempeña la mujer en la economía del hogar y en la formación y educación de los hijos, por lo que, dentro de este contexto, se acepta cada vez más que la mujer tiene un rol importante que desempeñar en materia de gestión del agua y que este papel sea reforzado a través de la estrategia de la transversalidad del enfoque de género.

A la fecha, únicamente se conoce que la EAP Zamorano (Joya, 2017) ha llevado un liderazgo en la incorporación de la mujer en el uso, manejo y conservación de los recursos naturales y gobernanza del agua, con un componente de calidad de agua.

En el Informe Diagnóstico del INAM (2007), en la revisión de las políticas, estrategias y marco legal sectorial y de género, se encontró que el enfoque de género está incluido en los niveles nacional o macro, institucional o meso, y comunitario o micro, en respuesta a los compromisos internacionales y los indicadores sectoriales y de género en la ERP contraídos por el país.

La participación de la AHJASA a través de las Juntas de Agua está dando apertura a la participación de la mujer, hasta en 50% en la integración de la Junta y en las actividades de desinfección del agua.

4.5 Áreas rural y urbana

De acuerdo con las definiciones establecidas por el INE, a partir del Censo de Población de 1974, las características de las áreas urbana y rural son las siguientes:

a. Área urbana es todo centro poblado del Censo 2013 que, como mínimo, se basa en uno de los criterios siguientes:
   1. Población de 2,000 y más habitantes.
   2. Centro poblado que era urbano en el Censo de 2001.
   3. Población entre 1,500 y 1,999 personas, y que posea al menos una de las características siguientes: a) amanzanado; b) centro de enseñanza; c) centro de salud; d) al menos 10% de disponibilidad de alcantarillado.

b. La zona rural es todo centro poblado que no cumpla con la definición anterior.

A pesar de la categorización anterior, las características aplicables para cada área no encajan totalmente en Honduras puesto que algunas de ellas se cruzan de manera transversal. Así, en las zonas urbanas, particularmente en las ciudades grandes, existen zonas periurbanas que tienen características típicamente rurales como el carecer de servicios de agua y saneamiento, mientras que en el área rural se han incrementado estos servicios con mayor énfasis en el agua potable, y donde carecen de energía eléctrica, se han implementado sistemas de suministro no convencional, como los pozos artesanales con bombas manuales y sistemas de captación de agua de lluvia.

En las zonas periurbanas, los habitantes suelen recurrir a la compra de agua en carros cisternas de los cuales se sospecha que venden agua de dudosa calidad y, de esa manera, en estos cinturones de población marginada es en donde brotan con frecuencia las enfermedades diarreicas y demás asociadas al consumo de agua contaminada.

En la población rural, el agua obtenida de fuente superficial es de buena calidad, pero se deteriora con la manipulación inadecuada porque los usuarios utilizan recipientes inseguros y almacenan el agua de manera inapropiada para su consumo posterior. Debido a esta situación, en las zonas rurales es característico encontrar enfermedades comunes como la diarrea y otras asociadas al consumo de agua contaminada, incluyendo el parasitismo. El mayor problema de carácter social por problemas de consumo de agua de mala calidad se enfrenta en la zona rural dispersa, la cual se estima que comprende 15% de la población rural total (INE, 2013).

4.6 Programas de inversión en calidad de agua

a. Durante el período 2009-2015, el Gobierno de Honduras, a través del SANAA, en colaboración con el Gobierno de España, mediante el grupo español SETA, instaló y puso en marcha 31 plantas potabilizadoras en igual cantidad de comunidades, con el propósito de mejorar la calidad de agua suministrada para disminuir el índice de morbilidad y mortalidad por enfermedades de origen hídrico, así como para fortalecer el desarrollo económico a través del mejoramiento de la salud y calidad de vida de la población (CONASA, 2014).

   Se instaló una planta convencional, 29 plantas modulares y una planta desalinizadora en la Isla de Útila, las cuales suministran un caudal de 80,000 m^3 de agua de buena calidad a una población total estimada en 600,000 personas. El programa incluyó el suministro de 20 plantas de cloración en igual cantidad de comunidades.

b. El programa de inversión en infraestructura para calidad del agua previsto por el CONASA (2014) en el PLANASA, para el período de 2018 a 2022 alcanza la cantidad de US$ 22.2 millones para la potabilización de 880 LPS y de US$ 224.4 miles para la desinfección de 180 LPS.

c. Con apoyo de la Universidad de Cornell de Nueva York, la ONG Agua para el Pueblo y AHJASA, se tiene un programa de cooperación con fondos de donación para la instalación de plantas potabilizadoras en pequeñas zonas urbanas y rurales, con tecnología apropiada, utilizando filtros de arena y beneficiando a 30,000 habitantes.

4.7 Industria, minería, agricultura y otros, y conflictos relacionados con la calidad del agua causados por esos factores

Los efectos del cambio climático han provocado efectos extremos en los recursos hídricos del país, entre los cuales resalta la alteración del patrón de lluvias, misma que, debido a la presencia del fenómeno de El Niño, ha ocasionado sequías con la consecuente reducción de los caudales en los ríos y deterioro de la calidad del agua.

a. Una gran cantidad de productos industriales, particularmente la industria alimenticia, necesita grandes cantidades de agua para su procesamiento. A pesar de ello, la industria a su vez es fuente de contaminación porque también requiere agua como un medio para diluir y limpiar las áreas contaminadas.

   En el país prevalece la industria alimenticia o agroindustria, que demanda agua de buena calidad, segura para consumo humano. Las empresas suelen tomar el agua de la red municipal si están ubicadas dentro del perímetro urbano por lo que se supone que es agua de buena calidad, mientras que, en el caso de las agroindustrias ubicadas en áreas no urbanas, poseen sistemas de purificación que les permite usar agua de buena calidad, utilizando fuentes de agua subterránea.

   No obstante que no existe un inventario actualizado, se considera que 50% de la industria metalmecánica posee sistema propio con agua de fuente subterránea, al igual que la industria de la maquila, cuyo principal rubro es la confección textil (MOSEF/GIZ /GFA, 2013).

b. En la mayoría de las operaciones mineras en el país, el agua es obtenida de fuente subterránea, arroyos, ríos, lagos o a través de proveedores de servicios comerciales de agua. En casi todas las zonas donde están ubicadas las minas hay escasez de agua, por lo que resulta comprensible que las comunidades y autoridades locales comúnmente se opongan a dicha actividad, ya que utilizan el agua de estas fuentes, las cuales buscan proteger al máximo de la contaminación que provocan las compañías mineras.

   De acuerdo con el INHGEOMIN, hasta 2009 se habían otorgado 426 concesiones de explotación minera, con mayor demanda en los Departamentos de Olancho (76), El Paraíso (55), Choluteca (44), Francisco Morazán (42) y Santa Bárbara (35). En el caso de Olancho, en su mayoría se explotan yacimientos de hierro, para lo que se utilizan fuentes de aguas subterráneas.

   La actividad minera en Honduras constituye un serio problema de contaminación por metales pesados, y la falta de control por parte de la autoridad competente ha llevado a la contaminación ambiental particularmente de los ríos y quebradas, desforestación del entorno donde están ubicadas y pérdida de hábitats acuáticos.

c. La demanda de agua para la agricultura hondureña representa problemas serios en las

regiones ubicadas en las zonas Sur, Sureste y Suroeste del país, especialmente en el llamado corredor seco, en donde el régimen de lluvias presenta períodos de sequía severa que se han agravado en las últimas cuatro o cinco décadas. Esta demanda está siendo aliviada mediante la construcción de lagunas reservorios o "cosechas de agua" que captan agua de lluvia en cantidades limitadas.

En la zona Norte del país, donde operaron las concesiones a compañías bananeras, existe una infraestructura de riego bien elaborada que permite la toma de agua superficial mediante presas de derivación y canales de distribución de agua.

A pesar de que la agricultura presenta serios problemas de contaminación de las fuentes de agua en un amplio radio de acción debido al uso de plaguicidas y abonos orgánicos aplicados para el control de plagas mediante la fumigación aérea, aún no existe un estudio científico sobre este problema de contaminación por las actividades agrícolas.

d. Otro aspecto importante que influye social y económicamente con la calidad del agua, por ejemplo, es que Honduras es uno de los países más vulnerables al cambio climático, cuyos efectos contribuyen a agravar la degradación ambiental, incrementando la vulnerabilidad al cambio climático, por lo que la sostenibilidad ambiental en el desarrollo del país se vuelve particularmente urgente.

También, la Huella Ecológica de Honduras ha disminuido en las últimas décadas y se mantiene relativamente estable, pero su biocapacidad ha disminuido en forma considerable. El Índice de Desempeño Ambiental medido por la Universidad de Yale[4] clasifica a Honduras entre los países con un "desempeño modesto" pero con tendencia a empeorar.

El país enfrenta una gran cantidad de retos ambientales que en su conjunto contribuyen a agravar la situación de pobreza, disminuir los niveles de salud, aumentar la vulnerabilidad a desastres naturales y/o incrementar la inseguridad alimentaria. Esos retos que enfrenta son con respecto a la desforestación, degradación de los suelos, desertificación, acceso al agua, contaminación del agua y del aire, manejo de residuos sólidos y tóxicos peligrosos, erosión y degradación costera, y disminución de la biodiversidad, entre otros.

5. Enfrentando el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS-6)

El acceso a agua potable y saneamiento sigue siendo uno de los mayores retos a enfrentar en Honduras debido a que miles de sus habitantes aún no tienen acceso a fuentes seguras de agua para consumo humano y carecen de servicios de saneamiento dignos.

A partir de 2003, el país experimentó una reforma en el Sector APS con el objetivo de promover la calidad de vida en la población y el afianzamiento del desarrollo sostenible como legado generacional, fundamentada en la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento. Esta Ley constituye un hito relevante, pues reconoce el agua potable y saneamiento como sector nacional de desarrollo promoviendo su transformación con la construcción de una nueva institucionalidad que crea una separación de funciones y definición clara de sus roles: a) normativa, políticas y planificación; b) regulación y control; y c) prestación de los servicios.

Para enfrentar los retos del Objetivo 6 "Agua Limpia y Saneamiento de la Agenda 2030",[5] de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas Honduras cuenta con las herramientas contenidas en: (a) el PEMAPS; (b) el PLANASA; (c) la Política Nacional del Sector Agua Potable y Saneamiento de Honduras (CONASA, 2013), en donde se establecen los lineamientos estratégicos, los mecanismos de implementación y las inversiones requeridas para cumplir con metas establecidas en la Ley para el Establecimiento de una Visión de País 2010-2038 y la Adopción de un Plan de Nación 2010-2022 para Honduras, conforme a la institucionalidad establecida en la Ley Marco del Sector de Agua Potable y Saneamiento donde se consideran relevantes los principios con enfoque en el *ser humano y su desarrollo equitativo e integral.*

4. https://epi.envirocenter.yale.edu/2018/report/category/hlt

5. http://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/post-2015/sdg-overview/goal6.html

Con la finalidad de monitorear y evaluar periódicamente el alcance de metas y el cumplimiento de objetivos de la reforma sectorial, el CONASA, con apoyo del PAS-Banco Mundial, diseñó la herramienta de Monitoreo de los Avances de País en Agua Potable y Saneamiento (MAPAS), mediante el cual se elaboró el Cuadro de Mandos en torno a los nuevos retos sectoriales y su vinculación con los ODS, para evaluar la ruta a través de la cual el país convierte los financiamientos en servicios sostenibles de agua potable y saneamiento para cada uno de los cuatro subsectores: agua rural, agua urbana, saneamiento rural y saneamiento urbano. Esta ruta evalúa tres grandes dimensiones sectoriales: a) marco institucional, b) desarrollo sectorial, y c) sostenibilidad.

5.1 Acceso universal y equitativo al agua de beber segura y asequible

La descentralización asumida por el Gobierno presupone la equidad entre diversas partes de un espacio territorial propio y, bajo esta óptica, con el propósito de alcanzar la universalidad del acceso equitativo al servicio de agua potable con enfoque de inclusión social. De acuerdo con el PLANASA, el Gobierno cuenta con la estrategia de descentralización de los servicios, la cual va orientada a brindar el apoyo y monitoreo del proceso de descentralización de los servicios todavía a cargo del SANAA, hacia las municipalidades; y de igual manera, las municipalidades deben conformar prestadores con autonomía de gestión técnica, financiera y administrativa, tomando en cuenta las prioridades y condiciones específicas de las diferentes categorías de esas localidades.

Para ejecutar esta estrategia, el PLANASA (CONASA, 2014) ha previsto el desarrollo de un programa de inversión de US$ 22.2 millones para la potabilización y desinfección del agua en las municipalidades que actualmente prestan servicios dentro del marco de la nueva Ley de Agua y Saneamiento. Conforme al mandato constitucional que establece el derecho humano al agua, el Estado hondureño, mediante el ERSAPS, regula los precios de conexión (tasa de suministro) que fijen los prestadores para que no se trasladen costos por encima del costo real de los mismos y no sea una barrera de acceso a los más pobres. Esto incluye el programa de micromedición que permitirá el cobro justo de acuerdo con el consumo.

En los proyectos de ampliación de redes de agua potable, los programas y proyectos deben contemplar que los prestadores proporcionen servicios temporales de agua potable en la población aledaña, que por razones técnicas no sean parte del proyecto, tales como redes condominales de agua con piletas públicas, tanques de almacenamiento colectivo o finalmente el servicio mediante carros cisterna.

5.2 Acceso al saneamiento e higiene adecuados y equitativos

Al igual que el tratado del acceso al agua potable, el mandato constitucional establece el derecho humano al saneamiento y el Estado hondureño, a través del ERSAPS, regula los precios de conexión (tasa de suministro) que fijen los prestadores.

Adicionalmente, el ente rector promoverá fuentes alternas y complementarias para posibilitar que la población de escasos recursos económicos pueda llevar a cabo la conexión intradomiciliaria de sus instalaciones sanitarias de la vivienda hacia los sistemas de alcantarillado, a través de la acometida domiciliaria.

Para la ejecución de esta estrategia, así como para alcanzar el objetivo de facilitar el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, el PLANASA ha previsto el desarrollo de un programa de inversión de US$ 129.3 millones para la ampliación de la cobertura del saneamiento en las municipalidades que actualmente prestan servicios dentro del marco de la nueva Ley de Agua y Saneamiento, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas, y las personas en situaciones vulnerables.

5.3 Mejorar la calidad del agua por reducción de la contaminación

La SESAL tiene por mandato ejercer la vigilancia, el control sanitario y la promoción de la calidad del agua y vertidos, en especial del agua para consumo humano como actividad prioritaria para la salud pública y es su responsabilidad ejercer el rol rector en este campo, para lo cual cuenta en su estructura con la Unidad de Vigilancia de la Salud, la Dirección de Vigilancia del Marco Normativo y la Dirección General de Normalización. Para su operatividad, la institución cuenta con regiones sanitarias departamentales constituidas por las Unidades de Veri-

ficación Normativa, Estadísticas y Laboratorio y las Unidades de Análisis (UDA), y al nivel municipal se cuenta con técnicos de salud ambiental (TSA) como responsables de la vigilancia, ejerciendo funciones de control sanitario diario.

De esta manera, para mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertido directo de aguas residuales crudas al ambiente, y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, se plantea la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales a fin de reducir inicialmente a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y, en forma paulatina, eliminar las descargas al ambiente. Asi mismo, se considera la actualización de la ley normativa y su reglamentación.

Con base en lo anterior, la meta a alcanzar conforme al PLANASA (CONASA, 2014) y al Plan de Nación y Visión de País es alcanzar una cobertura de alcantarillado de 60%, incluyendo pequeñas ciudades, y 50% en el tratamiento de aguas residuales del total del volumen recolectado.

En la **Tabla 6** se presentan las necesidades de inversión para el tratamiento de aguas residuales.

5.4 Aumentar la eficiencia del uso del agua

Entre los principios que guían la Política Nacional para el Sector Agua y Saneamiento (CONASA, 2013), se encuentra el principio de *Eficiencia*, mediante el cual se desea que la prestación de servicios se realice en forma eficiente, es decir, que los servicios produzcan resultados inmediatos y sin desperdicio de recursos, costos adicionales, pérdida de calidad o insatisfacción del usuario.

El desarrollo de la infraestructura planteada en el PLANASA es la estrategia que atiende los aspectos de rehabilitación y optimización de la infraestructura, así como el de la ampliación de los servicios. En esta línea de acción, se han agrupado las inversiones en tres grandes grupos:

a. Agua apta para el consumo humano, con las inversiones necesarias para potabilización en los sistemas de fuentes superficiales, y la instalación de sistemas de desinfección.
b. Continuidad y eficiencia hidrosanitaria para aumentar la continuidad de los servicios, la rehabilitación de sistemas de agua y sistemas de saneamiento como coadyuvantes para el uso eficiente del recurso, instalación de medidores y un plan piloto de instalación de inodoros de bajo consumo.
c. Hacia *la universalización de los servicios,* que cubre las inversiones destinadas al aumento de producción de agua potable, así como de la cobertura de los servicios en agua potable y saneamiento, ampliación de la cobertura de servicios en la zona rural, la expansión del tratamiento de aguas residuales, y la gestión adecuada de los lodos de las plantas de tratamiento y en los sistemas de saneamiento *in situ.*

5.5 Manejo integrado de los recursos hídricos en todos los niveles

En abril de 2017, el Gobierno de Honduras lanzó el Plan Maestro de Agua, Bosque y Suelo (Plan ABS) (Presidencia de la República, 2017) como parte integrante de Visión de País 2010-2038 y Plan de Nación 2010-2022 (Presidencia de la República, 2010) y como iniciativa para crear las directrices que fortalezcan el manejo integral de los recursos hídricos. Los objetivos del Plan ABS son que las instituciones y organizaciones locales tengan capacidad técnica y financiera para la implementación de la gestión in-

Tabla 6. Inversión para Ampliar Tratamiento de Aguas Residuales

Centro Poblacional	Rango de Población	Totales (US$)
Áreas metropolitanas	Mayor que 500,000	54,000,000.00
Ciudades mayores	Mayor que 30,000	974,795.00
Pequeñas ciudades	5,000 a 30,000	2,073,712.00
Centros urbanos menores	2,000 a 5,000	446,430.00
Total		57,494,937.00

Fuente: PLANASA, Comisión Nacional de Agua y Saneamiento, noviembre de 2014.

tegrada de suelos, agua y bosque, y lograr un manejo integral de los recursos naturales, poniendo en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza.

La estrategia de participación ciudadana y auditoría social se contempla como eje transversal de los diferentes lineamientos que contiene el PLANASA, y se hace efectiva en la conformación de la Junta Directiva del Prestador y en la creación de la COMAS y de la USCL. Las auditorías sociales de corresponsabilidad son para garantizar la transparencia y rendición de cuentas en el uso de los recursos, y en el control y vigilancia de la calidad del agua y de los servicios, coronando de esta manera la gestión integral de los recursos hídricos dentro del término municipal.

En cuanto al aspecto ejecutivo, para el desarrollo de una buena integración de los recursos hídricos aplicable en todo el ámbito nacional, y dado que en la Ley para el Establecimiento de una Visión de País al 2038 y la Adopción de un Plan de Nación al 2022 se reconoce al país como predominantemente urbano, y que duplicará su población en 2040, entre otras, se ha subdividió en seis regiones caracterizada por cuencas con características similares

5.6 Proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua

El Plan ABS, puesto en marcha por el Gobierno de Honduras, contiene las políticas y estrategias orientadas a proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos bosques, montañas, humedales, ríos, acuíferos y lagos.

Los procesos y líneas estratégicas del Plan ABS comprenden:

1. Proceso de Gobernanza
   a. Gobernanza local para gestión integrada de los recursos agua, bosque y suelo.
   b. Fortalecimiento del marco legal-institucional y mecanismos financieros.
2. Proceso de Gestión del Conocimiento
   a. Generación y gestión de información para la toma de decisiones.
   b. Fortalecimiento de capacidades humanas y desarrollo de competencias.
3. Proceso de Implementación de Prácticas Sostenibles
   a. Conservación, protección, restauración y aprovechamiento sostenible de agua, bosque y suelo.
   b. Desarrollo de infraestructura para el tratamiento, uso y reúso eficiente del agua (pluvial, subterránea, residual).

5.7 Expandir la cooperación internacional y el desarrollo de capacidades

En la estrategia de financiamiento sectorial, planteada en el PLANASA y en la Política Nacional del Sector Agua Potable y Saneamiento de Honduras, se encuentran la respuesta al objetivo de ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado para la creación de la capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, incluidos el acopio y almacenamiento de agua, la desalinización, el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, el tratamiento de aguas residuales y las tecnologías de reciclaje y reutilización.

El financiamiento de las operaciones en el sector, especialmente a nivel municipal, es uno de los elementos centrales que moverán los engranajes del sector bajo el nuevo enfoque de descentralización y modernización. Se buscará que exista el flujo adecuado de recursos para mejorar los servicios, lograr prestadores que operen eficientemente y en forma sostenible, y para crear la capacidad en el municipio a fin de dinamizar sus acciones en las comunidades para emprender proyectos locales y extender la cobertura a las áreas postergadas, y que sea efectiva la regulación.

La estrategia plantea el desarrollo de los siguientes elementos:

a. La consolidación de los fondos del sector coordinado y liderado por CONASA y su visualización en el presupuesto general del país; y
b. Promover la creación de un Fondo Hondureño para Agua Potable y Saneamiento.

Se identifican tres niveles para el financiamiento del sector:

a. Nivel sectorial: Establecimiento de las reglas, modalidades e instrumentos para financiar los diferentes componentes de costos e inversiones en este nivel sectorial.
b. Nivel del prestador: Establecimiento de mecanismos financieros y administrativos para que los prestadores puedan operar con solvencia; y

c. Nivel de municipalidades: Qué por ley pueden hacer los gobiernos locales para mejorar los servicios.

La inversión en el sector se hace a través de una mezcla de donaciones, préstamos, inversiones estatales, y la gestión de proyectos y programas, siendo complementada con un cierto nivel de contribución a los costos de operación por parte de los usuarios a través de tarifas y en zonas urbanas hasta los costos de inversión. La distribución de los costos de inversión es mayor que 25% en agua, y mayor que 35% en saneamiento.

En cuanto al marco de Fortalecimiento de Capacidades, en zonas rurales las juntas de agua han tenido un buen desempeño por lo menos en 40% de los sistemas (Presidencia de la República, 2010). La asistencia técnica ha jugado un papel importante en ello. Sin embargo, la descentralización conlleva desafíos acerca de la estructuración de la asistencia técnica.

La mayoría de las municipalidades tienen baja capacidad de gestión administrativa, operativa y estratégica. Cuentan con pocos recursos humanos calificados e incentivos, existe una rotación importante de personal y enfrentan limitaciones de oferta del mercado laboral local.

5.8 Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales

Para el apoyo y fortalecimiento de la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento, los prestadores serán apoyados tanto en el fortalecimiento institucional, como en su relación y promoción de la participación ciudadana y auditoría social, conforme a mecanismos que establezca la autoridad sectorial.

El fortalecimiento institucional comprende los procesos de gestión directiva y gerencial, gestión técnica, comercial, administrativa-financiera y planificación, gestión social participativa, gestión del riesgo y vulnerabilidad de los sistemas. Asimismo, está el apoyo a las municipalidades mediante la creación y fortalecimiento de la Unidad Técnica Municipal (UTM), debidamente equipada, con logística de movilización y presupuesto operativo integrado con el de la municipalidad. La oferta calificada será promovida mediante la implementación de la capacitación profesional del personal técnico operativo y mandos intermedios, así como un mecanismo de certificación de profesionales consultores para asistencia técnica y asesoramiento de los prestadores y municipalidades.

En el Manual de Operación de los Modelos de Intervención para proyectos de Agua Potable y Saneamiento en Barrios Periurbanos Marginados, Sector Rural Concentrado y Disperso (PAS, 2002), elaborado por el FHIS con apoyo del Banco Mundial, se establecen las estrategias para apoyo y fortalecimiento de la participación ciudadana mediante la involucración de la comunidad en el desarrollo de los proyectos de agua con énfasis en la calidad del agua.

El ERSAPS (2011) ha elaborado el Manual para la Identificación e Implementación de Acciones de Tercerización para EPS de APS, cuyo objetivo es constituirse en una herramienta de apoyo y consulta para los gerentes y directivos de los EPS. Mediante la tercerización de los servicios se pretende reducir el tamaño burocrático de los EPS sobre todo en el campo de la operación y mantenimiento de los sistemas de APS y algunos servicios administrativos como ser servicios generales, vigilancia, facturación y cobro, entre otros, volviéndolos más eficientes en la prestación de un servicio de calidad y provean un producto –agua– de muy buena calidad.

6. Experiencias exitosas para mejorar la calidad del agua

En los últimos 14 años, todas las acciones desarrolladas para mejorar la calidad del agua han estado orientadas al manejo de cuencas tomando en cuenta el cambio climático, cuyos efectos en los recursos hídricos están resultando perjudiciales en todos los países. Honduras ha tomado muy en serio su condición de país muy vulnerable ante los efectos del cambio climático, y por tal motivo sus esfuerzos están orientados a establecer una política con base en estrategias de programas de resiliencia al cambio climático (CONASA, 2013).

La responsabilidad de la protección y conservación del ambiente corresponde al Estado a través de la Secretaría de MiAmbiente y a las municipalidades. A los prestadores les corresponde garantizar el cumplimiento de las normas de calidad requeridas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento, debiendo asignar los recursos ne-

cesarios para la protección ambiental de las áreas donde se ubiquen las fuentes o puntos de vertidos.

6.1 Planes de restauración/ protección de cuencas

Al amparo del Desafío de Bonn-Latinoamérica 2016 (GIZ/Ministerio Federal de Medio Ambiente, Obras Públicas y Seguridad Nuclear/CCAD/MiAMBIENTE, 2016), Honduras adquirió el compromiso de restaurar un millón de hectáreas, lo que es coherente con las metas nacionales y el Plan de País. En este compromiso, Honduras destaca su interés por proteger las costas y el abastecimiento de las comunidades locales involucradas, indígenas y afrodescendientes, debido a su elevada vulnerabilidad ante los desastres naturales que presenta, posicionado como uno de los países más vulnerables, de acuerdo con la lista del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

En la Estrategia MiAMBIENTE 2016-2026 se establecen las recomendaciones para las acciones que el Gobierno debe poner en marcha para la protección de los recursos hídricos y garantizar la sostenibilidad de la cantidad y calidad del recurso agua. En el contexto de la Agenda Climática de Honduras y del Plan ABS, el Gobierno ha diseñado el Plan Nacional de Restauración que busca reforestar un millón de hectáreas a 2030, con el apoyo del PNUD, el cual ha movilizado la cantidad de US$20 millones como recursos financieros no-reembolsables del Fondo de Adaptación y el Fondo para el Medio Ambiente Global, esperando avanzar con la restauración de 115,000 ha de paisajes forestales en los próximos cinco años.[6]

La iniciativa con el Fondo de Adaptación tiene previsto restaurar 30,000 ha de bosque en el corredor boscoso central, afectado por la plaga del Gorgojo de Pino y que cubre el Municipio del Distrito Central y otros municipios aledaños. Por otro lado, la iniciativa con el Fondo para el Medio Ambiente Global prevé restaurar 85,000 ha de micro-corredores biológicos entre 20 áreas protegidas del país y, con ello, conservar la alta biodiversidad.

A fin de seguir apoyando los esfuerzos del Estado para lograr sus metas y acciones a favor de la restauración, el PNUD está coorganizando un evento paralelo al evento central del Bonn Challenge con actores nacionales e internacionales para conocer y profundizar en los mecanismos de financiamiento en materia de restauración en el país. Este evento paralelo es financiado por el Programa de Fortalecimiento de Capacidades en Bajas Emisiones del PNUD con fondos de la Unión Europea y el Gobierno de Alemania.

6.2 Experiencias piloto (guías para responsables de las políticas, entre otros)

El Gobierno de la República ha puesto en marcha el Plan Maestro Agua, Bosque y Suelo o Plan ABS, el cual considera los recursos hídricos, forestales y edáficos como ejes principales para el establecimiento de una política agroforestal basada en paisajes productivos sostenibles, mediante una serie de programas fundamentados en el plan nacional de mitigación y adaptación al cambio climático. El mismo incluirá una Campaña Nacional de Reforestación denominada "Honduras Siembra Vidas" que se encuentra acorde con el Desafío de Bonn.

El componente agua del Plan ABS enfoca más agua y de mejor calidad de conformidad con la Visión del País del Plan Maestro, porque el agua es el recurso que más llama la atención por el potencial que tiene en el país. El Plan ABS busca convertirse en una política pública[7] que permita integrar los tres temas bajo una perspectiva "desde lo local a lo nacional y global". Esto significa que se dará énfasis al trabajo en las comunidades para que puedan implementar acciones orientadas a mejorar el acceso al agua, la conservación de los bosques y de los suelos.

Con el Plan Maestro se van a promover e incentivar las buenas prácticas que ya se están llevando a cabo en varias comunidades en Honduras en materia de buen manejo del agua, bosque y suelo.[8] Para la calidad del agua, de inmediato se contempla el tratamiento y recolección de los desechos sólidos y contaminantes.

6. http://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/presscenter/pressreleases/2017/06/1-1/pnud-contribuir-en-lograr-el-11-de-la-meta-nacional-de-restauraci-n-de-bosques/

7. www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/stories/pnud-apoyara-a-la-implementacion-de-los-objetivos-del-plan-maest.html

8. www.presidencia.gob.hn/index.php/sala-de-prensa/170-plan-abs/2283

6.3 Educación, capacitación y conciencia pública

La Educación Sanitaria, derivada de la oferta de servicios de APS, es vital para la reducción de las tasas de morbilidad y mortalidad, y propone educar a las familias promoviendo el baño corporal más frecuente, el lavado escrupuloso y manejo de los alimentos, las prácticas de higiene en el manejo de excretas y desechos sólidos, y la necesidad de la protección del ambiente para contribuir a un entorno sustentable y saludable.

6.3.1 Plataforma PEMAPS

La plataforma de Desarrollo del PEMAPS propone el proceso de modernización que permita alcanzar los mejores niveles de cobertura y eficiencia en la prestación de servicios con calidad para brindar agua segura a la población, implicando una serie de cambios que resultan en la definición de políticas sectoriales claras, disposiciones y regulaciones para la prestación de los servicios, normas técnicas y el uso de nuevas herramientas tecnológicas, técnicas y legales.

El PEMAPS plantea el aspecto relacionado con la formación de los recursos humanos que es fundamental para la buena gestión de la prestación de los servicios de APS al interior de los EPS. Su existencia en cantidad y calidad garantiza mejor capacidad interna de trabajo y facilita la introducción de nuevos esquemas de participación en la prestación de los servicios vía tercerización (*outsourcing*) u otras alternativas participativas. La estrategia considerada en el PEMAPS es el fortalecimiento de los recursos humanos de todo el sistema.

6.3.2 Modelos de intervención

En el nivel de capacitación y concienciación pública, con apoyo del Banco Mundial, el FHIS elaboró el *Manual de Operación de los Modelos de Intervención para proyectos de Agua Potable y Saneamiento en Barrios Peri-urbanos Marginados, Sector Rural Concentrado y Disperso*, en donde se establece la estrategia para la capacitación de los EPS y JAS a través de la formación de Comités con integración de Personal Técnico capacitado y para la culturización del agua mediante involucración de la comunidad en las actividades de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.

Asimismo, la Visión de País y Plan de Nación establecen 11 lineamientos estratégicos que definen el rumbo que orienta las políticas públicas; por lo tanto, son la base de la política sectorial, de los planes y programas a ser desarrollados. Dichos lineamientos se vinculan con los sectoriales, que establecen el marco que es considerado en la formulación del PLANASA. Los lineamientos estratégicos del Plan Nación allí establecidos incluyen la educación y cultura como medios de emancipación social, orientados a la educación sanitaria y ambiental.

6.3.3 Escuela y casa saludable

Del trabajo conjunto del SANAA y UNICEF surgió en 1996 el Proyecto "Escuela y Casa Saludable"[9] para enfrentar el hecho de que la implementación de infraestructura de servicios de APS necesita llevar adelante un programa educativo paralelo a la construcción de tal infraestructura, para lo cual se consideró conveniente aplicar métodos que contemplasen la participación directa de los pobladores.

El Proyecto "Escuela y Casa Saludable" ha logrado un impacto positivo en la calidad de vida de los miembros de las comunidades rurales y periurbanas de Honduras, sobre todo en sus prácticas de higiene y saneamiento ambiental, y se ha convertido en un modelo que está siendo replicado por diversas agencias de cooperación y organismos no gubernamentales.

6.4 Otros: Asociaciones de empresas de agua y mancomunidades

a. En 2013 se constituyó la Asociación Hondureña de Prestadores de Servicios de Agua y Saneamiento[10] con el propósito de alcanzar el desarrollo de los servicios básicos de cada uno de los municipios integrados.
b. Al amparo del Artículo 20-A de la Ley de Municipalidades, Decreto N° 143-2009, se da lugar a la conformación de la mancomunidad "como modalidades asociativas o asociación de municipios" que es definida como una entidad territorial subordinada a los municipios miembros, sujeta al derecho público y exclusivamente ges-

9. https://www.wsp.org/Hygiene-Sanitation-Water-Toolkit/Resources/Readings/ UNICEF-Honduras.pdf

10. https://issuu.com/25965/docs/presentacion_ahpsas_rashon_ 2014.ppt

tora y ejecutora de programas, proyectos y servicios de interés prioritario, que permite a sus miembros abordar problemas que no pueden afrontar individualmente" (p. 18).

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

a. Honduras ha logrado avances muy importantes en la cobertura de los servicios de agua y saneamiento, mismos que se estiman en 85.2% para el acceso al agua potable y 55% para el acceso a saneamiento, alcanzando las metas de los ODM 2015 de la ONU.
b. Los problemas que afectan en mayor grado la calidad del agua son la desforestación, los incendios forestales y las descargas directas de aguas residuales crudas al ambiente y, además, el mal manejo y disposición de deschos sólidos.
c. La gobernabilidad del país ha cambiado en forma positiva con la aprobación de la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento y su Reglamento, y con las herramientas de apoyo: el PEMAPS, el PLANASA y la Política Nacional del Sector Agua Potable y Saneamiento, lo que ha fortalecido el marco institucional y legal del sector, contándose además con el apoyo de normas técnicas para el agua potable y el saneamiento.
d. La participación de las ONG agrupadas en su mayoría en la RAS-HON y/o el Programa Para Todos (PPT) desempeñan un importante papel, complementario a las acciones del Estado en el suministro de agua potable a un gran sector de la población urbana y rural.
e. La investigación científica relacionada con la calidad de agua para consumo humano es aún débil, y el papel de las universidades en el tema aún no despierta el interés que amerita por parte de la autoridad competente. El monitoreo y la creación de bancos de interés con base de investigación científica es, por lo tanto, escaso y los esfuerzos que existen son aislados y carecen de continuidad.
f. Entre los problemas que impactan la calidad del agua, han tomado relevancia la lixiviación y los contaminantes emergentes debido a que afectan las fuentes de aguas subterráneas por infiltración. Dentro de los contaminantes emergentes han aparecido los nanomateriales como los nano-plásticos, que son partículas más pequeñas que una micra con propiedades morfológicas.
g. Honduras ha encontrado que el conocimiento en el ámbito del agua y su calidad es básico para lograr el éxito en la sostenibilidad de los sistemas de agua; la culturización del agua ayuda a las buenas prácticas en su uso y la conservación de su calidad como fuente para la buena salud.
h. Honduras se ha preparado y continúa tomando acciones para enfrentar los retos del Objetivo 6 planteados en la Nueva Agenda 2030 Desarrollo Sostenible de la ONU para garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
i. Honduras ha desarrollado excelentes experiencias en el tema de calidad de agua iniciadas con la aprobación de la Ley Marco del Sector Agua Potable y su Reglamento, la formulación de una Visión de País Plan de Nación y herramientas de trabajo como el Plan ABS y modelos de intervención para proyectos de agua y saneamiento.
j. La exiencia del control de la calidad del agua por parte de los EPS de APS corresponde al ERSAPS, mientras que la vigilancia corresponde a la SESAL.

7.2 Recomendaciones

a. Deberán realizarse esfuerzos adicionales para sostener los logros obtenidos en cobertura de agua y saneamiento, complementar las tareas pendientes, de manera que no exista desfase en el futuro cercano, y el desarrollo de nuevas obras.
b. El país deberá poner en marcha las acciones recomendadas en Estrategia MiAMBIENTE y en el Plan ABS para la restauración de bosques, y para la protección de cuencas, dentro de cuya planificación se ha planteado el desarrollo del país, tomando en cuenta el Perfil Ambiental del País (PAP) Honduras y la existencia de las mancomunidades como organizaciones de municipios con capacidad para ejecutar las acciones atinentes del campo.
c. Deben ponerse en práctica todas las recomendaciones planteadas en el PEMAPS, ejecutar el PLANASA y aplicar la Política Nacional del Sector Agua Potable y Saneamiento a fin de cimentar de manera firme el nuevo estado de la go-

bernanza del Sector APS en pleno desarrollo actual, y consolidar los logros obtenidos.

d. El Gobierno Central debe fortalecer el sector institucional de las ONG, debido al papel que desempeñan en la atención de un importante sector de la población al cual aún no llega la acción de las autoridades gubernamentales, como son las zonas periurbanas de las grandes ciudades, así como la rural concentrada y la rural dispersa.
e. Deben asignarse recursos a la investigación científica, monitoreo de fuentes superficiales y subterráneas identificadas para el suministro de agua, y creación de banco de datos que incluyan parámetros meteorológicos, para ser incluidos en las estrategias y políticas del Plan Nacional de Agua y Saneamiento, y la adaptación al cambio climático, tal como se plantea en el MAPAS. En este campo, el CESCCO desempeña un importante papel, debido a que posee oficinas en diferentes regiones del país.
f. Debe prestarse atención al problema de contaminación por lixiviados y contaminantes emergentes, preparando recursos humanos que desarrollen programas y proyectos para el manejo y disposición adecuada de los vertidos de manera segura al ambiente. En necesario eliminar los botaderos de basura al aire libre, construyendo rellenos sanitarios y controlar las descargas de aguas de proceso en las minas bajo explotación.
g. Deben replicarse y ampliarse los programas de educativos desarrollados sobre educación sanitaria, tal como el programa Escuela y Casa Saludable, debido al éxito obtenido. Asimismo, deben invertirse los recursos necesarios como se plantea en el PEMAPS y en el PLANASA para la formación de educadores, la capacitación y concienciación o culturización de la ciudadanía. Debería aplicarse con mayor intensidad el componente de participación ciudadana y capacitación planteada en los modelos de intervención.
h. El Gobierno debe apoyarse en toda la infraestructura institucional que creó para alcanzar las metas planteadas en los ODM 2015, y reforzarla con personal capacitado, y con asignación de los recursos económicos suficientes para cumplir con los retos del ODS 6 planteados en la Nueva Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de la ONU.
i. El país debe socializar la Visión de País Plan de Nación y el Plan ABS, las Políticas del Sector de Agua Potable y Saneamiento, y el PLANASA y ejecutarlos de conformidad, puesto que en ellos está contenido todo un ambicioso plan de desarrollo de Honduras, con fundamentos sólidos para alcanzar un mejor nivel de vida con salud y educación.
j. El ERSAPS debe exigir a los EPS de APS que ejerzan el control de la calidad del agua y que la SESAL implemente un programa de vigilancia de calidad de agua.

Referencias bibliográficas

Aceituno, Laura (2016). Plomo, hierro y manganeso mayores contaminantes del agua en comunidades de Ojojona, Santa Ana y San Buenaventura determinaron estudiantes de la UNAH. UNAH, *Presencia Universitaria,* 7 de julio de 2016. https://presencia.unah.edu.hn/noticias/plomo-hierro-y-manganeso-mayores-contaminantes-del-agua-en-comunidades-de-ojojona-santa-ana-y-san-buenaventura-determinaron-estudiantes-de-la-unah

Asociación de Municipios de Honduras (1993). Ley de Municipalidades y su Reglamento. Publicado en *La Gaceta* el 18 de febrero de 1993. Disponible en: https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver_documento.php?uid=MzczMjY3ODkzNDc2MzQ4NzEyNDYxOTg3MjM0Mg

CONADEH/MOSEF-UE/Gobierno de la República de Honduras/ICF (2016). *El gorgojo descortezador del pino y otras graves amenazas ambientales a la vida digna de los hondureños y hondureñas.* Tegucigalpa: ICF.

CONASA/PPIAF/BM (2005). *Honduras: Plan Estratégico de Modernización del Sector Agua Potable y Saneamiento (PEMAPS). Hacia una gestión descentralizada.* Tegucigalpa: Comisión Nacional de Agua Potable y Saneamiento.

CONASA (2013). *Política Nacional Sector Agua Potable y Saneamiento de Honduras.* Tegucigalpa: Comisión Nacional de Agua Potable y Saneamiento.

CONASA (2014). *Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento (PLANASA).* Tegucigalpa: Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento.

ERSAPS/SEFIN/PROMOSAS/BM (2011). *Manual para la Identificación e Implementación de Acciones de Tercerización para Entes Prestadores de Servicios de Agua Potable y Saneamiento.* Tegucigalpa: ERSAPS.

GIZ/Ministerio Federal de Medio Ambiente, Obras Públicas y Seguridad Nuclear/CCAD/MiAMBIENTE (2016). *Desafío de Bonn-Latinoamérica 2016.* Panamá, 26 de agosto de 2016. El Salvador: REDD+ Landscape/CCAD).

Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (2013). *XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda.* Tegucigalpa: INE.

Instituto Nacional de la Mujer (INAM)/RAS-HON/WSP-LAC (2007). *La inclusión del enfoque de equidad de género en el sector de agua y saneamiento en Honduras. Diagnóstico y propuesta.* Honduras: INAM.

Joya Rodríguez, Crisly Massiel (2017). *Participación de mujeres en el uso, manejo y conservación de los recursos naturales y gobernanza del agua en la microcuenca río Marcala, Honduras.* Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

MOSEF/GIZ /GFA (2013). *Perfil Ambiental de País-Honduras.* Consultores: Juan Palerm, Ernesto Flórez Payarez, Hans Nusselder. Tegucigalpa: MOSEF.

OPS/OMS (2012). *Proyecto de Municipios y Comunidades Saludables. Plan de Seguridad del Agua (PSA) del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Casco Urbano de la Ciudad de Siguatepeque.* Tegucigalpa: OPS/Aguas de Siguatepeque.

OPS/OMS/SESAL (2012). *Plan de Vigilancia de la Calidad del Agua en los Municipios Priorizados en el Plan Nacional de Enfermedades Desatendidas.* Tegucigalpa: SESAL.

Presidencia de la República (2010). *República de Honduras: Visión de País 2010-2038 y Plan de Nación 2010-2022.* Disponible en: https://eeas.europa.eu/sites/eeas/files/lc_10.pdf

Presidencia de la República (2017). *Plan Maestro de Agua, Bosque y Suelo (Plan ABS).* Disponible en: http://www.presidencia.gob.hn/index.php/plan-maestro

Programa de Agua y Saneamiento (PAS) (2002). *Manual de Operación Modalidades de Intervención para Proyectos de Agua Potable y Saneamiento en Barrios Peri-urbanos Marginados, Sector Rural Concentrado y Disperso.* Vol. 1. Tegucigalpa: FHIS/BM.

SESAL (1998). Reglamento General de Salud Ambiental. *La Gaceta Diario Oficial de la República de Honduras.* Núm. 28,593, 20 de junio de 1998. Tegucigalpa: Presidencia de la República de Honduras.

SESAL (2003). Ley Marco del Sector de Agua Potable y Saneamiento. Decreto N° 118-2003. *La Gaceta Diario Oficial de la República de Honduras.* Tegucigalpa: Presidencia de la República de Honduras.

México

En las áreas de alta densidad poblacional, en el centro del país, se presenta la mayoría de los problemas de contaminación del agua por materia orgánica y contaminantes biológicos. El 89% de la carga total de contaminantes por DBO se genera en 20 cuencas hidrológicas que albergan 93% de la población y 72% de la producción industrial. Tan sólo las cuencas de Lerma, Pánuco, Bravo, San Juan y Balsas reciben 50% de las descargas de aguas residuales de la nación. La insuficiente infraestructura de tratamiento de agua residual municipal e industrial, así como las descargas no controladas a los cuerpos de agua, ocasionan serias repercusiones en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos. En **México** esto se debe a la falta de normatividad, pero también, y en mayor medida, al incumplimiento de las normas vigentes y a la falta de vigilancia de su cumplimiento.

Lago de Pátzcuaro desde el muelle de Ucazanaztacua, Michoacán © Foto de Daniel Moreno Alanís

Calidad del agua en México[1]

Adriana Carolina Flores-Díaz, Alma Chávez Mejía, Anne M. Hansen, Arsenio González Reynoso*, Beatriz Casasola, Blanca Jiménez Cisneros*, Blanca Lucía Prado Pano, Brenda Rodríguez Herrera, Daniel Murillo Licea, Erick D. Gutiérrez López, Fabiola Garduño, Gabriela Cabestany Ruiz, Ignacio González Mora, Itzkuauhtli Zamora Sáenz, Jorge Eugenio Barrios Reynoso*, José Antonio Barrios Pérez, José Joel Carrillo Rivera, Juan Carlos Durán Álvarez, Juana Amalia Salgado López, Leopoldo G. Mendoza Espinosa, Lorenzo Gómez Morín, María Aurora Armienta Hernández, María del Pilar Saldaña Fabela, Mariana Zareth Nava-López, Marisa Mazari-Hiriart, María Luisa Torregrosa y Armentia*, María Teresa Orta Ledezma Velásquez, Marinhe Concepción Rosas Rodríguez, Miguel Palmas Tenorios, Miguel A. Córdova Rodríguez, Miriam G. Ramos-Escobedo, Porfirio Hernández H, Ramón Pérez Gil Salcido, Ricardo Sandoval Minero, Robert Hunter Manson, Ronal Sawyer G., Sergio S. Ruiz-Córdova y Sofía Esperanza Garrido Hoyos

1. Introducción

La calidad del agua es, en realidad, un término abstracto que sólo adquiere sentido práctico cuando se asocia a un uso y se definen las concentraciones y valores para medirla (Jiménez, 2001). Eso ocurre porque la calidad de agua que se requiere para beber, por ejemplo, es diferente a la calidad que se requiere para fabricar ladrillos. Así, puede incluso resultar que un mismo compuesto en un caso sea contaminante mientras que en otro sea inocuo o necesario; también, es posible que los valores de toxicidad sean diferentes. En México, el interés por la calidad del agua es relativamente reciente (de las últimas décadas), ya que la preocupación inicial siempre estuvo relacionada con la cantidad de agua. Este interés se ha reflejado en la generación de una cantidad significativa de información, la cual se presenta a continuación abordando aspectos institucionales, tipos de contaminantes, problemas de calidad y aspectos sociales.

2. Gobernanza de la calidad del agua

2.1 Marco Legal

La legislación mexicana reconoce que la calidad del agua es importante desde los puntos de vista social, económico y ambiental. El marco regulatorio es federal y tiene origen en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM, 1917). El Artículo 4 señala el derecho de toda persona a un ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar; el Artículo 25 es más explícito al señalar como meta el desarrollo integral y sustentable para el país,

1. Una versión extensa de este capítulo se encuentra disponible en http://www.amc.unam.mx/

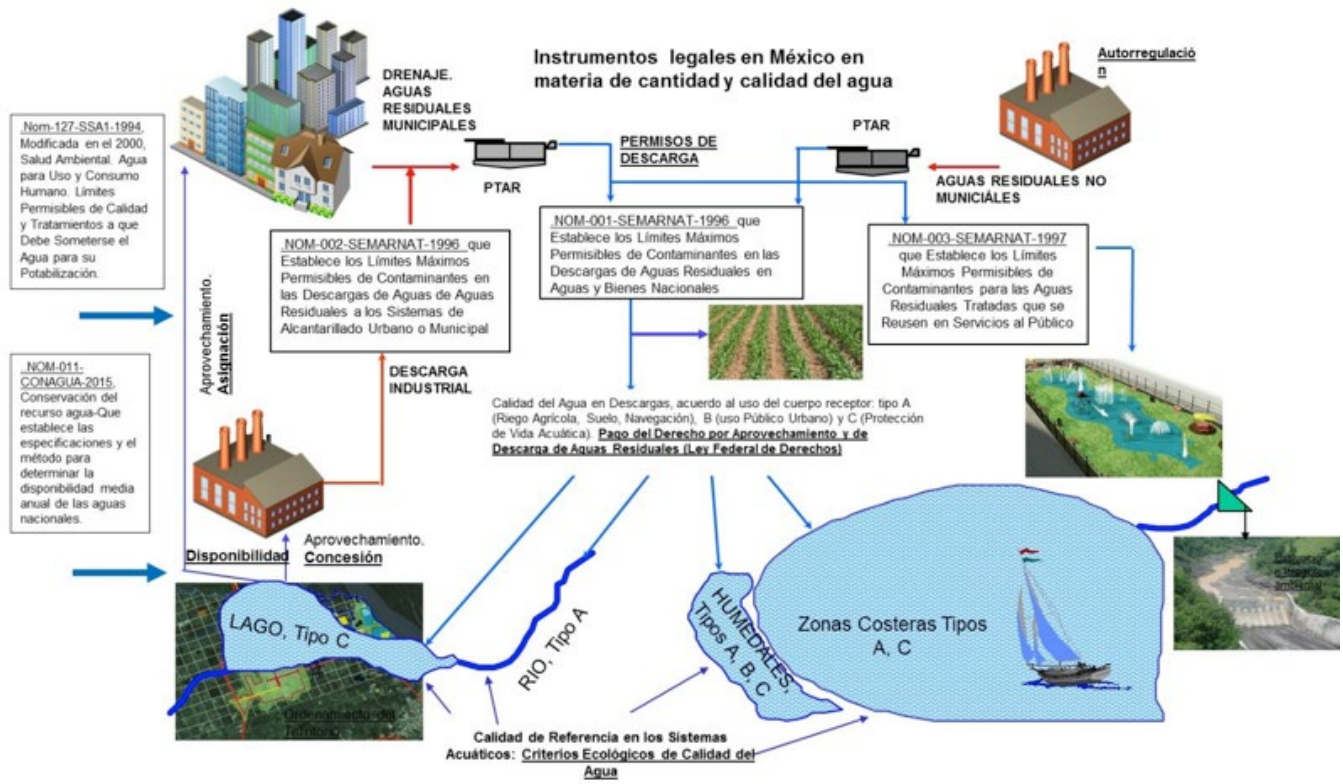
*Coordinadores del capítulo

así como la necesidad del cuidado y conservación de recursos naturales; en el 27 se establece que el agua es propiedad de la nación e indica las medidas para evitar su deterioro y efectuar la restauración del equilibrio ecológico. Asimismo, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 1988) otorga a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y ésta a la Comisión Nacional del Agua, la política hídrica y la aplicación de los mecanismos normativos, de administración y de vigilancia, en tanto que los municipios tienen las funciones operativas en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento. La LGEEPA (1988) y la Ley de Aguas Nacionales (1992), reformada en 2004, indican que la planeación, el ordenamiento ecológico, la evaluación del impacto ambiental, el régimen de concesiones y asignaciones, los permisos de descarga de aguas residuales, el cobro de derechos, la autorregulación y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que establecen especificaciones, condiciones, parámetros y límites permisibles para el aprovechamiento de agua y descarga de aguas residuales son los instrumentos que materializan los preceptos constitucionales y la política hídrica nacional. Su aplicación se muestra en la **Figura 1**.

A diferencia de la mayoría de los países, la normatividad mexicana se distingue porque regula la calidad de las descargas en función del uso del cuerpo receptor (agua o suelo), en lugar de hacerlo en función del tipo de descarga o de la capacidad de asimilación de contaminantes. De esta forma reconoce que el agua es un recurso renovable que es reusado por medio del ciclo hidrológico y a través del tiempo (Jiménez, 1995 y 1996). Esta estructura normativa se estableció como una base mínima para construir la capacidad para su cumplimiento.

En la actualidad se distinguen diversos retos institucionales para enfrentar los problemas de contaminación, entre los que destacan: (a) la escasa coordinación intra e interinstitucional; (b) la carencia de metas de calidad de agua de largo plazo o para la atención de problemas específicos; (c) la continua y creciente sobreexplotación del agua;

Figura 1. Representación esquemática del marco normativo para la calidad del agua en México



(d) el enfoque regulatorio basado únicamente en el control de las descargas y con vigilancia limitada; (f) la carencia de políticas para evitar la generación de contaminantes; (g) el insuficiente e inadecuado tratamiento de las aguas residuales; (h) la ausencia de control de la contaminación difusa; (i) la escasa participación ciudadana; y (j) la ineficiente descentralización de funciones y recursos de la federación hacia estados, municipios y usuarios.

2.2 Participación social

La participación social, definida en la Ley de Aguas Nacionales, se da por medio de los Consejos de Cuenca (Capítulo IV) o a través del Consejo Consultivo del Agua (Capítulo V bis). Los Consejos de Cuenca –integrados al menos 50% por usuarios y organizaciones ciudadanas o no gubernamentales– son órganos colegiados de integración mixta para la coordinación, concertación, apoyo, consulta y asesoría para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de infraestructura hidráulica y servicios respectivos, y la preservación del recurso. En cuanto al Consejo Consultivo del Agua (CCA), es un organismo autónomo de consulta integrado por la sociedad civil, con la función de tener una visión ciudadana independiente, propositiva, plural y representativa.

En la actualidad, la organización de usuarios, es decir, aquellos que cuentan con un título de concesión, en mayor o menor medida es una realidad en todas las cuencas del país, pero la participación de la sociedad en general es aún incipiente. El principal obstáculo que se enfrenta para contar con este tipo de participación es la carencia de recursos, obstáculo que se ha venido salvando parcialmente con la voluntad ciudadana y el surgimiento de fundaciones. Un ejemplo es la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. (FGRA), la cual fue fundada en 2000 y para 2015 había financiado 204 proyectos. Sin embargo, los recursos que pueden canalizar las ONG son todavía insuficiente para lograr una participación plena de la sociedad civil. Otro ejemplo rele-

Figura 2. Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua. Sitios de monitoreo, CONAGUA

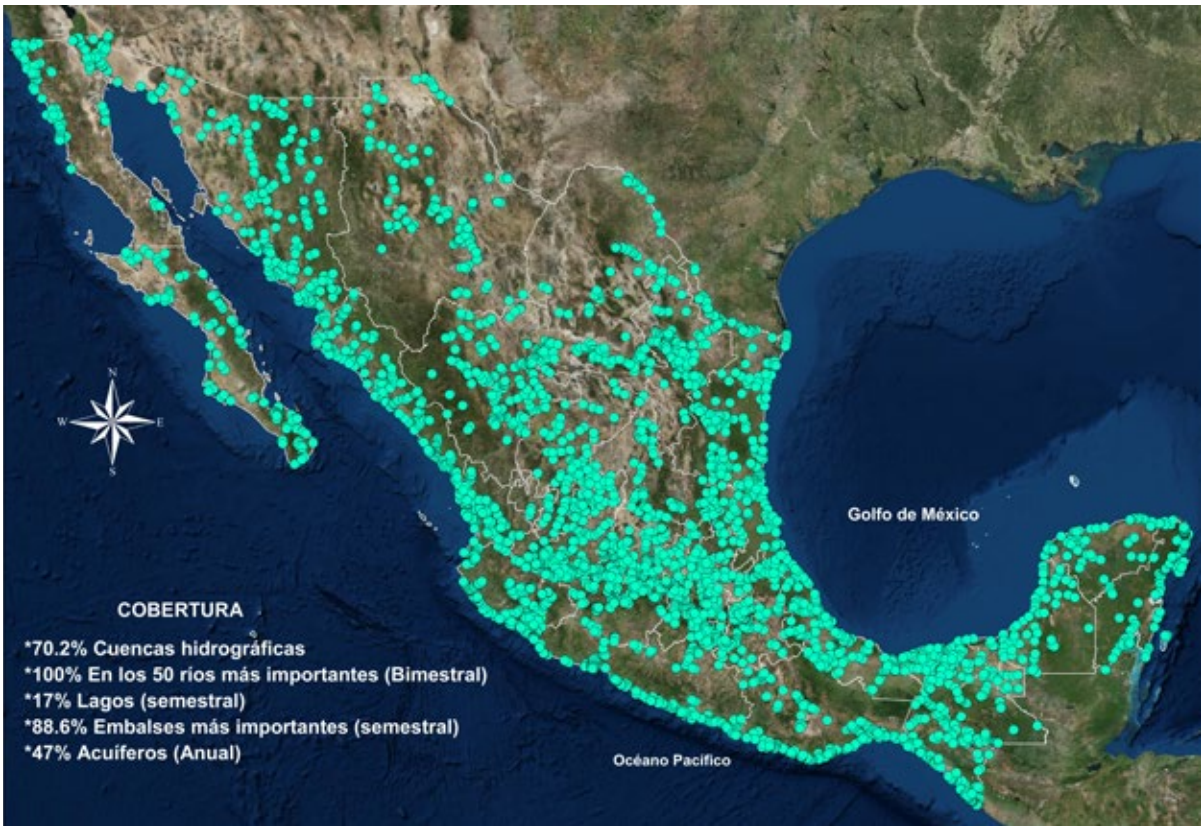
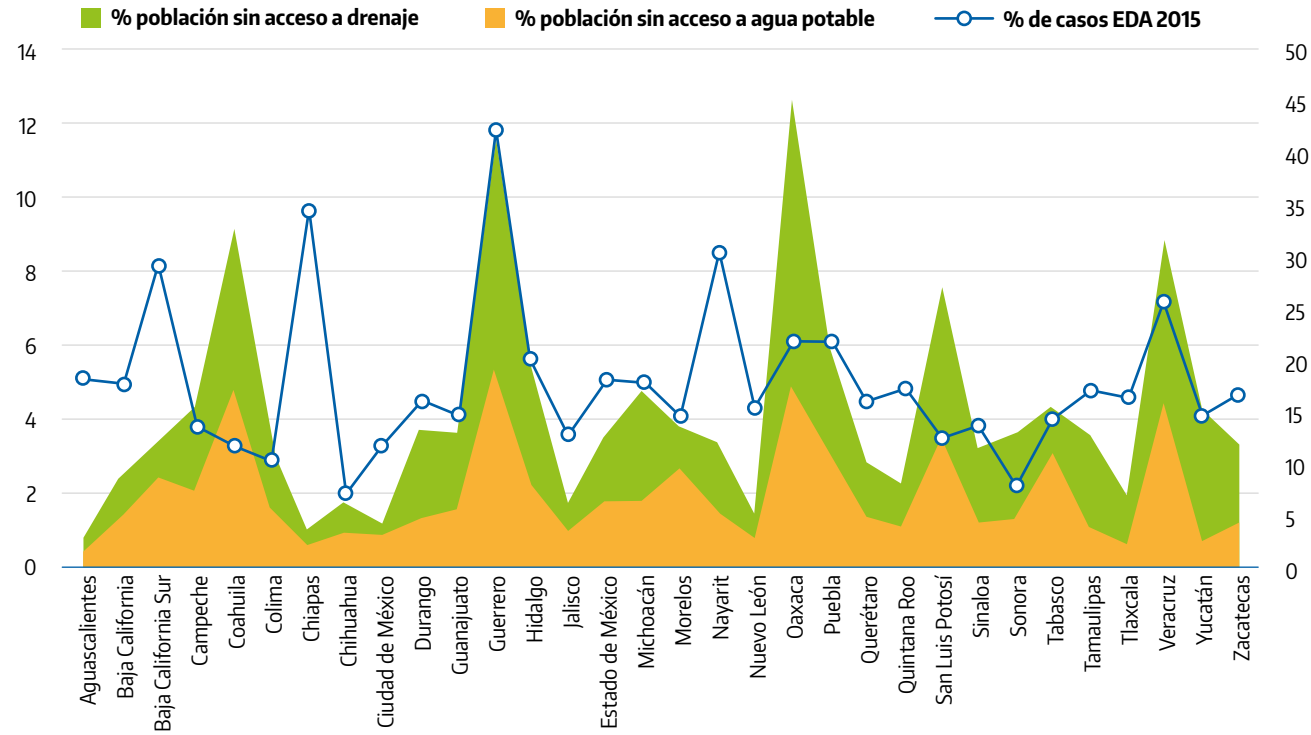


Figura 3. Incidencia de enfermedades diarreicas y población sin acceso a agua potable y saneamiento



Fuente: INEGI 2015

vante de participación social en México es la del movimiento "Agua para Todos, Agua para la Vida" que integra pueblos originarios, organizaciones sociales, trabajadores, sistemas comunitarios de gestión del agua e investigadores comprometidos con la construcción de un gobierno democrático del agua y el territorio. En esta iniciativa participaron más de 420 investigadores y organizaciones en talleres realizados en 26 estados de la República con la finalidad de elaborar una propuesta para la Ley de Aguas. Un tercer ejemplo son los observatorios ciudadanos que vigilan los servicios de agua potable y saneamiento, particularmente en las ciudades de La Paz, Valle de Bravo, San Miguel de Allende, Xalapa y Tuxtla Gutiérrez.

2.3 Monitoreo y bases de datos

Desde 2012, la Comisión Nacional del Agua realiza un seguimiento sistemático de la calidad de los recursos de agua del país. La Red Nacional de Medición de Calidad del Agua cubre 40 parámetros en 5,000 sitios de medición (**Figura 2**), abarcando presas y lagos (840), ríos (2,041), zonas costeras (939) y pozos (1,180). Los resultados alimentan el Sistema de Información de Calidad del Agua (SICA, 2016), que es una base de datos parcialmente abierta al público en general y que resulta fundamental para planear y evaluar las acciones de prevención y control de la contaminación. De acuerdo con el SICA, para el agua superficial, 92% de los sitios tiene una calidad entre excelente y aceptable en términos de la DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), 68% en términos de la Demanda Química de Oxígeno y 93% para el caso de los sólidos suspendidos totales. El 80% de los sitios presenta un contenido menor o igual a 1,000 coliformes fecales (NMP/100 ml). En áreas identificadas como contaminadas, se promueve el saneamiento, la inspección de fuentes y sanciones administrativas a empresas contaminadoras.

3. Calidad del agua del país

3.1 Situación de los recursos hídricos

Los problemas de contaminación de los recursos hídricos son serios, ya que los sistemas de tratamiento disponibles remueven 19% de la materia biode-

gradable (DBO_5) que se genera por las descargas municipales, lo que equivale a verter 9,7 toneladas de DBO_5 anualmente al ambiente (CONAGUA, 2016).

3.1.1 Cuerpos superficiales

La insuficiente infraestructura de tratamiento de agua residual municipal e industrial y las descargas no controladas de 8% de la población a las fuentes superficiales de agua (CONAGUA, 2016) provocan la contaminación microbiológica, orgánica y de nutrientes del agua con serias repercusiones en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana. La falta de drenaje y de tratamiento se relaciona con una mayor incidencia de enfermedades intestinales, las cuales llegan a afectar hasta a 12% de la población en ciertos estados de la República (**Figura 3**).

3.1.2 Agua subterránea

En México, el agua subterránea representa cerca de 40% del volumen total de agua concesionada para uso en abastecimiento público (60.5%) y para riego agrícola (35.5%) (CONAGUA, 2016b).

La importancia del agua subterránea[2] se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios, pues 38.9% del volumen total concesionado para usos consuntivos[3] (33,311 hm^3 por año a 2015) procede de agua subterránea, siendo el mayor usuario el sector agrícola al utilizar 35.9% de ese volumen total (CONAGUA, 2016a).

El sistema de aguas subterráneas se compone de 653 acuíferos, de los cuales en 498 la disponibilidad es mayor a la explotación, 18 tienen problemas por intrusión marina, 32 contienen aguas salobres y los 105 restantes están sobreexplotados. La agricultura representa una causa importante de la sobreexplotación, pero también de la contaminación del agua subterránea, principalmente en el norte y centro del país. La agricultura provoca la contaminación del agua subterránea por los fertilizantes (aportes de nitrógeno) y por los pesticidas que se usan para aumentar la productividad de los cultivos. Se han encontrado plaguicidas persistentes en acuíferos de todo México, por ejemplo, en Jalisco (Sandoval Madrigal, 2015), Yucatán (Metcalfe *et al*., 2011), Sonora (García de Llasera y Bernal-González, 2001), Sinaloa (García- Gutiérrez y Rodríguez-Meza, 2012), Guanajuato, Estado de México (Vicenta Esteller y Díaz-Delgado, 2001) e Hidalgo (Downs *et al*., 1999). Pese a que desde 1988 la Comisión Intersecretarial Mexicana para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Productos Químicos Tóxicos (CICOPLAFEST) restringió el uso de ciertos plaguicidas, la implementación de dicha política ha sido difícil e inconsistente. Recientemente se formó el Programa de Monitoreo y Evaluación de Substancias Persistentes y Bioacumulables (STPB, por sus siglas en inglés) para Cuencas y Acuíferos para cuantificar STPB, incluyendo plaguicidas, en el agua subterránea de Río Fuerte, Zacatepec, Tuxtla Gutiérrez, Cuernavaca y Acuífero de Ocosingo. Sin embargo, todavía se necesita mucha investigación en esta área para comprender la amplitud del problema (Hansen, 2012b).

Otra fuente importante de contaminación de las aguas subterráneas es la intrusión de agua salada. Dicho proceso se lleva a cabo cuando el agua del mar se infiltra en acuíferos costeros provocando su contaminación. Los casos más conocidos en México se encuentran en Baja California, Baja California Sur, Sonora y la Península de Yucatán. En un futuro, dicho fenómeno será más grave por el efecto combinado de la sobreexplotación y la elevación del nivel del mar como resultado del cambio climático (Cardona *et al*., 2004; Metcalfe *et al*., 2011; CONAGUA, 2015). Este proceso es similar al de la intrusión de agua geotérmica que ocurre en Puebla y otros estados del norte del país en donde las aguas subterráneas están contaminadas con azufre y otros sólidos disueltos (Flores-Márquez *et al*., 2006).

Diversos procesos y el medio geológico pueden ser la causa de concentraciones elevadas de contaminantes en el agua de suministro al grado de hacerla inadecuada para suministro potable, o bien, para otros usos (riego, acuacultura, etcétera). En México, el agua subterránea se encuentra naturalmente contaminada por arsénico (As) y/o fluoruro (F-) en diversos sitios (Armienta y Segovia, 2008). En estas regiones minerales, la arsenopirita o la escorodita liberan grandes concentraciones de arsénico al agua, como ha ocurrido en Zimapán, Hidalgo, y posiblemente en Villa de la Paz, SLP (Armienta *et al*., 2001; Razo *et al*., 2004). Otro ejemplo

2. De los $348 m^3$ por segundo de agua suministrada en el país, se estima que 60.5% proviene de fuentes subterráneas (CONAGUA, 2016b).

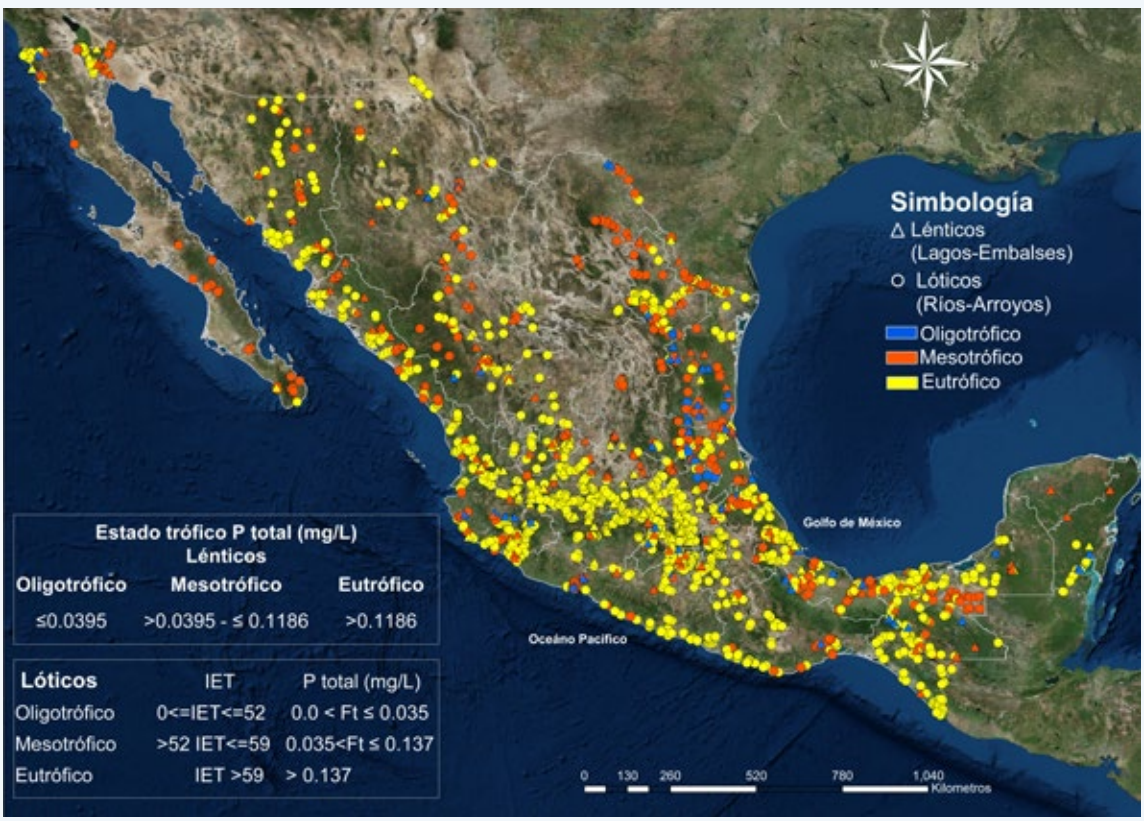
3. Uso consuntivo es la diferencia entre el volumen extraído y el descargado al llevar a cabo una actividad.

Cuadro 1. Eutrofización

La eutrofización provoca el agotamiento del oxígeno del agua, el incremento exacerbado de plantas acuáticas, la mortandad de peces y riesgos a la salud humana y animal por la presencia de toxinas. De acuerdo con el SICA (2016), el problema por eutrofización es apremiante en México. Usando la clasificación de CEPIS (2001) para lagos y embalses tropicales, de 321 cuerpos de agua lénticos evaluados de 2012 a 2016, 39% es eutrófico (con abundancia), 44.2% mesotrófico (condición intermedia) y 16.8% oligotrófico (con escasez) (**Figura 4**). Para los ríos tropicales y usando el Índice de Carlson modificado por Lamparelli (2014) para 1,963 sitios de medición, 80.1% es eutrófico, 18.9% mesotrófico y 1% oligotrófico. Además, en 54% de éstos se encontraron detergentes (SAAM) en concentraciones por arriba del criterio Ecológico de Calidad del Agua para la protección de la vida acuática de 0.1 mg/L (DOF, 1989).

Para resolver el problema se requieren procesos de depuración que eliminen el nitrógeno y fósforo del agua (lo que es costoso), aplicar técnicas de producción más limpia como, por ejemplo, producir detergentes con bajo contenido de fósforo y controlar la contaminación difusa, principalmente la proveniente de la aplicación de fertilizantes sintéticos en zonas agrícolas. Un caso extremo de eutrofización ocurre en el lago de Pátzcuaro.

Figura 4. Eutrofización en cuerpos de agua de México



es la interacción del agua termal con la fluorita de rocas volcánicas causante de la contaminación del agua potable con fluoruro en San Luis Potosí (Carrillo-Rivera *et al.*, 2002). En Hermosillo, Sonora, la presencia de flúor (F) se debe a su liberación a partir de granitos (Valenzuela-Vásquez *et al.*, 2006). En la zona central de Chihuahua, en donde hay altos niveles tanto de arsénico como de flúor, la presencia se debe a la interacción del agua con las riolitas (Reyes-Gómez *et al.*, 2013). Los procesos geoquímicos agua-roca con aguas termales son la causa de altas concentraciones de F- y As en Juventino Ro-

sas, Guanajuato, y en Los Altos de Jalisco (Hurtado y Gardea-Torresdey, 2004; Morales *et al*., 2015). La desorción de As en acuíferos granulares constituye el proceso de contaminación en la Comarca Lagunera (Durango, Chihuahua y Coahuila), el cual además es agravado por la evaporación (Molina, 2004; Ortega-Guerrero, 2004). En la Comarca Lagunera se han registrado importantes problemas de salud por la ingesta crónica de agua con As desde 1958 (Cebrián *et al*., 1994). Además, de manera artificial, los residuos mineros son también fuente de contaminantes como el arsénico, pero son muy difíciles de detectar como origen de contaminación en zonas naturalmente enriquecidas con este elemento.

El problema de la contaminación por arsénico y fluoruro ha sido parcialmente resuelto y eso sólo en algunos sitios. En Chihuahua, por ejemplo, se instalaron sistemas de ósmosis inversa para tratar el agua de consumo y ofrecerla a bajo costo. Sin embargo, no toda la población hace uso de esta agua posiblemente porque debe transportar los recipientes para llenarlos. En otros sitios, las autoridades mezclan el agua contaminada con agua de buena o mejor calidad, para diluir el contenido de As y F-. Otra solución ha sido reemplazar el agua subterránea por superficial, pero ello no se puede hacer en muchas zonas áridas o semi-áridas en donde existe el problema. En Zimapán y otros sitios se han instalado sistemas de tratamiento para remover arsénico y algunas veces también fluoruro, pero debido a los costos de operación y mantenimiento, muchos municipios operan las plantas de manera intermitente o, simplemente, las abandonan. Tanto el arsénico como el flúor pueden producir daños severos a la salud (cáncer, diabetes, hipertensión, problemas cognitivos, afectaciones dentales y de los huesos, gangrena, entre otros).

También hay problemas de contaminación por la recarga incidental de acuíferos con agua residual aportando patógenos, metales pesados y contaminantes emergentes (Gallegos *et. al.*, 1999; Chávez *et. al.*, 2011). Asimismo se conocen problemas de contaminación de acuíferos por descargas de la explotación minera. Sin embargo, muchas de las nuevas prácticas de explotación –como es la extracción de gas de esquistos bituminosos– no están contempladas en las normas sobre la calidad de agua (De la Vega Navarro y Ramírez Villegas, 2015).

3.2 Situación por tipo de contaminante

3.2.1 Contaminación orgánica y biológica

La mayoría de los problemas de contaminación por materia orgánica y contaminantes biológicos se encuentran en áreas con alta densidad poblacional, particularmente en el centro de México. En efecto, 89% de la carga total de contaminantes por DBO en el país se genera en 20 cuencas que albergan 93% de la población y 72% de la producción industrial. Las cuencas Bravo, Pánuco, Lerma, San Juan y Balsas reciben 50% de las descargas de aguas residuales de la nación (CONAGUA, 2016).

En el sureste de México, donde se ubican las regiones administrativas hidrológicas Balsas, Pacífico Sur y Lerma-Santiago-Pacífico, las actividades agrícolas son la principal fuente de la economía. En esta región las principales fuentes de contaminación por materia orgánica son la industria azucarera, la curtidora, la papelera y la porcina.

En el estado de Sonora, en el noroeste de México, los ríos Yaqui y Matape presentan serios problemas de contaminación orgánica en las partes más bajas de las cuencas y es ocasionada por descargas urbanas, agrícolas e industriales. La contaminación del Río Yaqui es agravada por la presencia de pesticidas que provienen de los campos agrícolas cercanos, así como por una elevada salinidad provocada por una elevada evapotranspiración y/o intrusión marina (Vega-Granillo *et al*., 2011).

En la cuenca Lerma-Chapala –que es la más grande del país–, aunque las industrias generan un volumen bajo de agua residual descargan 130,500 toneladas/año de demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La contaminación no puntual de tipo orgánico también proviene de la zona de El Bajío, en la parte baja del Río Lerma, así como de desechos de ganado, particularmente de granjas porcinas. La industria de alimentos en la zona es también una fuente de contaminación no puntual, aunque en menor medida.

Con respecto a los coliformes, la mayor parte de las cargas microbiológicas se encuentra en las cuencas Lerma-Chapala y Balsas, particularmente en los estados de Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, México, Morelos y Puebla, donde la mayoría de los desechos son ganaderos y aguas residuales municipales sin tratamiento (CONAGUA, 2016).

3.2.2 Agroquímicos

En el país, el uso de agroquímicos es generalizado, tanto en la agricultura extensiva como en la de subsistencia. Por una parte, la cantidad de fertilizantes empleados en el país se ha generalizado, pero por otra su uso se ha intensificado pasando de 62.3 kg/ha en 2002 a 83.6 kg/ha en 2014 (datos.bancomundial.org). Así, el consumo en 2014 representó de manera aproximada un total de 4.2 millones de toneladas. Una revisión de casos a nivel nacional (Sánchez-Guerra *et al*., 2011) encontró que no sólo es el empleo *per se* de plaguicidas, sino también su inadecuada aplicación. Ello ha ocasionado la intoxicación en trabajadores agrícolas y sus familias, observando una disminución en el conteo de esperma y efecto genotóxicos, entre otros problemas de salud. Desafortunadamente, la alta marginación de las zonas agrícolas ocasiona que los trabajadores agrícolas no estén conscientes de los riesgos por su uso. Aunado a lo anterior, en el país se siguen empleando plaguicidas que han sido prohibidos a nivel internacional. Ello se debe en parte a que la lista de plaguicidas peligrosos (19 en total) no ha sido actualizada desde 1991 por La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). Por otra parte, se da escaso seguimiento a la reglamentación existente sobre la fabricación, importación, almacenaje, distribución, venta y aplicación de agroquímicos de la Secretaría de Salud (SSA), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

El problema de la contaminación por plaguicidas del agua ya es generalizado en el país. Por un lado, en los estados en donde existe la agricultura intensiva –como Sinaloa, Sonora y Guanajuato–, la aplicación de agroquímicos es, igualmente, intensiva. Por otro lado, en lugares en donde la agricultura es de subsistencia, la aplicación también se lleva a cabo, si bien en menor escala, pero con medidas de protección aun más precarias, ocasionando la contaminación de agua, suelo y aire con el asociado aumento de riesgo a la salud humana y ambiental.

Como muchos casos en el país, la existencia de un marco regulatorio debe ser acompañado con un marco operativo que facilite su aplicación. Además, y con la finalidad de disminuir su consumo, deben ofrecerse alternativas a los productores, como incentivos económicos para adoptar el empleo de agricultura orgánica o bien el Manejo Integrado de Plagas (MIP). Es de gran importancia capacitar a la gente de campo sobre los riesgos asociados al manejo de plaguicidas, tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

3.2.3 Metales y metaloides

Los metales se introducen a sistemas hídricos a partir de diversas fuentes como son los procesos de fundición, refinación y quema de combustibles, así como fugas, descargas de agua residual, vertido y lixiviación de basura. Algunos metales son muy tóxicos aun en muy bajas concentraciones, como plomo, mercurio, cadmio, cromo, cobre, zinc, aluminio, berilio, cobalto, talio, vanadio, níquel y metaloides como selenio y arsénico. El destino de estos metal(oid)es en cuerpos de agua se rige por numerosos procesos que incluyen sorción/desorción, precipitación/disolución y complejación/disociación. Algunos metal(oid)es son también sensibles a cambios en estado de óxido/reducción. Una vez en los cuerpos de agua, los metal(oid)es se transportan de la columna de agua al sedimento mediante el depósito de partículas de materia orgánica y óxidos de hierro y manganeso, donde se encuentran acumulados, actuando así el sedimento como destino de los metal(oid)es. En México, gobiernos, organizaciones no gubernamentales, universidades y centros de investigación realizan estudios de muestreo de metal(oid)es en cuerpos de agua. Sin embargo, no se han establecido programas de monitoreo continuo de metal(oid)es y, por lo tanto, no existen inventarios formales de estos contaminantes ni del riesgo de exposición que representan. El monitoreo de sedimentos tampoco es una práctica establecida, a pesar de que ello permite conocer la evolución histórica de la contaminación (Hansen *et al*., 2013).

3.2.4 Salinización

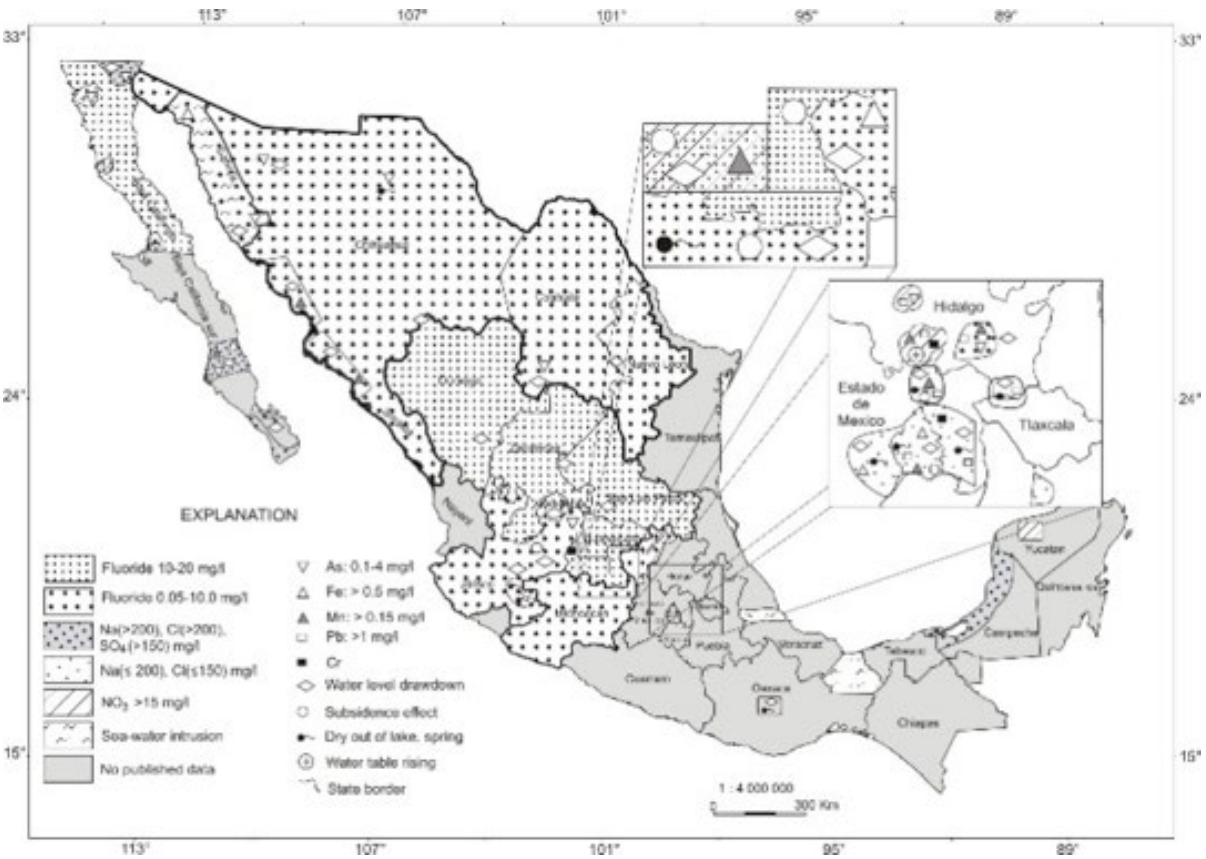
La excesiva extracción de agua subterránea es una de las causas de la salinización de las aguas subterráneas en el país. De acuerdo con diversas publicaciones y trabajos de tesis (Carrillo-Rivera *et al*., 2008) (**Figura 5**), ello se ha observado principalmente en zonas que obtienen su suministro de agua subterránea de roca fracturada en la Sierra Madre Occidental (ie., estados de Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Jalisco, San Luis Potosí, Zacatecas), o de medio gra-

nular en cuencas sedimentarias de gran espesor (ie., Ciudad de México) y en las zonas costeras (ie., Baja California, Sonora). El agua extraída en diferentes lugares, a menudo alcanza niveles alarmantes –por arriba de la norma de calidad de agua–, en términos de sólidos disueltos totales, sodio, fluoruro, radiactividad o contenido de arsénico, entre otros. La respuesta del tipo de agua subterránea y su contenido en sales, así como su control correspondiente antes de que el agua llegue a la bomba de extracción, ha sido definida aplicando el funcionamiento de los Sistemas de Flujo Tóthianos de Agua Subterránea (SFTAS), metodología que, aunque su aplicación ha sido continuamente publicada desde los años 90, necesita ser incluida en una ley específica para dirigir cualquier actividad ambiental relacionada con el agua subterránea. Abordar correcciones a la salinización exige comprender la problemática antes de actuar utilizando la metodología de SFTAS. El objetivo es entender cómo podrá ser posible controlar los procesos responsables relacionados con el aumento de salinización antes de que este efecto se produzca y sea observado en un pozo de extracción. Sin embargo, esta solución siendo más económica y más respetuosa con el ambiente, llama menos la atención que *soluciones estructurales* que a menudo crean efectos ambientales indeseables adicionales.

3.2.5 Contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes son los compuestos activos presentes en los productos de uso cotidiano, tales como medicamentos, productos de aseo personal y nanomateriales. El agua residual es una de las fuentes de estos contaminantes al ambiente. Los efectos tóxicos causados por los contaminantes emergentes son aún poco conocidos; no obstante,

Figura 5. Principales sitios con problemas de calidad del agua subterránea por su excesivo uso industrial y urbano, o bien, en donde la falta de entendimiento de cómo funciona el agua subterránea crea problemas de calidad por su extracción



Cuadro 2: El Balance Hídrico ¿es una solución?

Tal vez, una dificultad para resolver la pregunta referente a qué métodos científicos emplear para resolver los problemas de salinización del agua subterránea, sea enfrentarse al ya establecido "método" para estudiar el agua subterránea. Éste ha sido el procedimiento estándar en muchos países. En México, se inició a mediados de los años 60 bajo el nombre de *Geohidrología*: el "balance hídrico", enfoque que es puramente estático y se encuentra en fuerte conflicto con la visión sistémica del funcionamiento del agua subterránea. La interpretación de datos del agua subterránea basada únicamente en la respuesta hidráulica es, a menudo, inadecuada debido a que descuida evidencia química, biológica y geológica. Por ejemplo, la extracción incontrolada del agua subterránea de profundidad somera en San Luis Potosí (centro-norte de México) induce la mezcla de un flujo frío, bajo en fluoruro y sodio, así como de un flujo termal profundo y rico en fluoruro, en proporciones diferentes. Esto ha resultado en una mezcla en el pozo de extracción produciendo un flujo con alto contenido en fluoruro (≥4.1 $mg \cdot l^{-1}$) y sodio (≥60 $mg \cdot l^{-1}$), que es peligroso para la salud humana y de la agricultura. La mezcla de flujos se lleva a cabo dependiendo del caudal de extracción, hidrogeología local, así como del diseño, construcción y operación del pozo. El entendimiento del sistema de flujo del agua subterránea provee soluciones alternativas para controlar y regular el ascenso de agua de flujos profundos y tomar ventaja de las reacciones químicas que controlan la solubilidad del fluoruro, y que permiten precipitarlo antes de que llegue al pozo de extracción.

el principio precautorio obliga a contar con estrategias para monitorearlos y removerlos del agua residual. México se encuentra entre los países con la mayor tasa de reúso de agua residual cruda para riego agrícola (Jiménez y Asano, 2008), por lo que continuamente elevadas cargas de contaminantes emergentes entran a los suelos agrícolas y pueden migrar a los reservorios de agua adyacentes a las zonas de riego (ver **Cuadro 3**). Estudios de monitoreo previos han encontrado sistemáticamente la presencia de contaminantes emergentes en el agua residual de la Ciudad de México, en niveles de µg/L a ng/L (Gibson *et al*., 2007; Siemens *et al*., 2008; Durán *et al*., 2009; Chávez *et al*., 2011). Desafortunadamente, no se han encontrado reportes publicados que muestren la presencia de éstos en el agua residual de otras megaciudades, zonas fronterizas o poblaciones a lo largo del litoral mexicano. Más recientemente, el estudio de Félix-Cañedo *et al.* (2013) evidenció la presencia de fármacos, agentes plastificantes y tensoactivos en el acuífero y fuentes de abastecimiento superficiales en la Ciudad de México. El origen de tal contaminación fue atribuido a las fugas en la obsoleta red de drenaje de la ciudad. Previamente, Metcalfe *et al.* (2011) reportaron la presencia de fármacos y drogas ilícitas en aguas de cenotes en la península de Yucatán, lo cual fue también relacionado con infiltraciones de agua residual. Debido a sus propiedades físicas y químicas, la mayoría de los contaminantes emergentes son pobremente removidos en los sistemas convencionales de tratamiento de agua residual (Miege *et al*., 2009), por lo que, aun incrementando la actual tasa de tratamiento en México, no se esperaría una reducción notable de las cargas contaminantes en el agua tratada. Actualmente, se desarrollan sistemas de tratamiento terciario basados en biorreactores con membranas (Estrada-Arriaga y Mijaylova, 2001) y procesos de oxidación avanzada (Durán *et al*., 2016), los cuales muestran altas remociones de contaminantes emergentes en agua residual, pero son muy costosos. Ante ello, una manera de abatir el problema es mediante el empleo de métodos de producción más limpios en la industria que eviten el uso de este tipo de compuestos en los productos que la sociedad emplea.

3.3 La deforestación y la calidad del agua

La deforestación impacta en la provisión de servicios ambientales por parte del suelo y resulta en la pérdida de la biodiversidad, la disrupción de los ciclos hidrológicos y geoquímicos, y el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (Masera *et al*., 1997; Maass *et al*., 2005; Galicia y Zarco, 2014). En México, la deforestación ha sido más intensa en la región tropical del país (Palacio *et al*.,

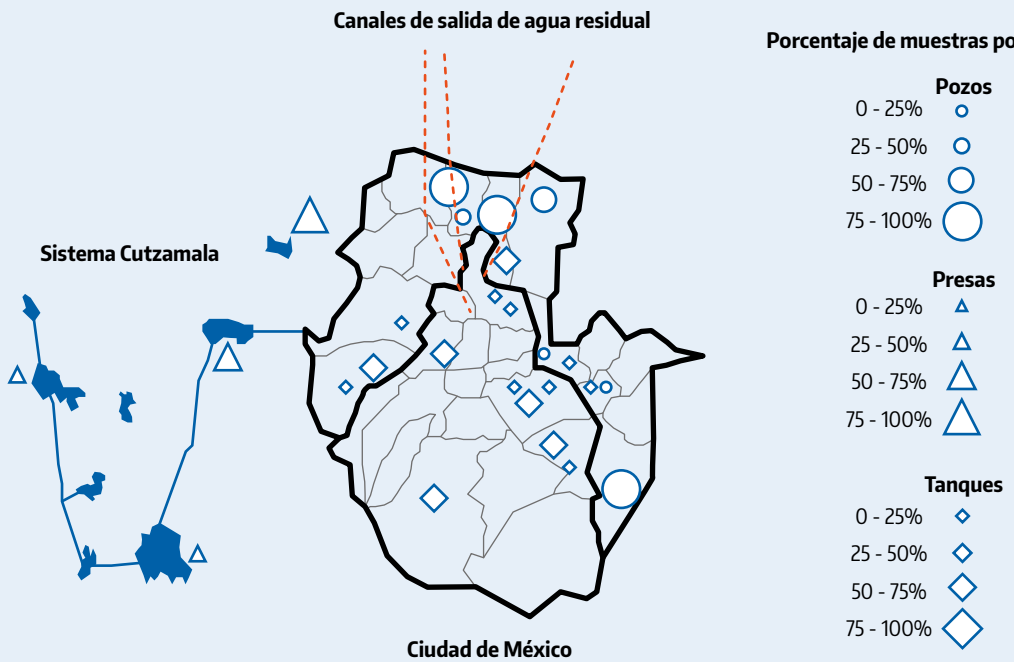
2000; Velázquez *et al*., 2002), donde se ha perdido más de 95% de la cobertura original de selva tropical (Durán y Lazos, 2004). Datos oficiales indican que los estados de Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán reportan los mayores índices de deforestación del país (IRE, 2016). El problema se observa también en Aguascalientes, Veracruz y Oaxaca (Chapa *et al*., 2008; Vaca *et al*., 2012; Chevalier y Buckles, 1995; Dirzo y García, 1992; Palacio *et al*., 2000; Velasco-Murguía *et al*., 2014; Corona *et al*., 2016).

Los bosques contribuyen al mantenimiento de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas al prevenir la erosión del suelo. Cuando la deforesta-

Cuadro 3. Contaminantes emergentes en el Valle de Tula

El agua residual de la Ciudad de México se reusaba sin tratamiento previo, para el riego de cultivos forrajeros en el Valle de Tula, 90 km al norte de la ciudad. El método de riego es mediante inundación de parcelas, lo que provoca la infiltración del agua al subsuelo. Los contaminantes emergentes presentes en el agua residual son en su mayoría adsorbidos por el suelo. No obstante, parte de ellos logra llegar al acuífero y por esta razón se han encontrado trazas (ng/L) de los contaminantes más hidrosolubles en el agua subterránea y en los manantiales de la región de Tula. Recientemente ha comenzado a funcionar una macroplanta de tratamiento para el agua residual de la Ciudad de México. El menor contenido de materia orgánica en el agua residual de riego podría provocar una disminución de ésta en el suelo y, con ello, una movilización de los contaminantes emergentes ahí retenidos. Cabe señalar que uno de los principales usos del acuífero de Tula es para consumo humano.

Figura 6. Presencia de contaminantes emergentes en fuentes de agua subterránea (pozos) y superficiales (presas) de la Ciudad de México y en tanques de almacenamiento donde el agua se guarda antes de ser bombeada a la red



Las marcas indican la frecuencia con la que se encontraron sustancias farmacéuticamente activas en las muestras de agua tomadas (n = 10).

ción ocurre, se da un aumento en la escorrentía, la cual transporta el suelo erosionado hacia los cuerpos de agua superficial, llevando consigo una serie de contaminantes entre los que destacan carbono, nitrógeno y fósforo, principales causantes de la eutrofización. En México, la deforestación debido a la conversión de bosque a tierras agrícolas y urbanas, o incluso por efectos climáticos, ha causado problemas graves en la calidad del agua en diversas regiones. Algunos ejemplos de ello se encuentran en la península de Yucatán (Evans, 2012; Trujillo-Jiménez *et al*., 2011), en la cuenca alta del Río Lerma (García-Aragón *et al*., 2007), y en la acumulación de arsénico y cromo en el lago Miramar en Chiapas (Hansen, 2012a). Una de las zonas cuyas fuentes de agua superficial se han visto mayormente impactadas por la deforestación en las montañas del estado de Veracruz (Martínez *et al*., 2009).

4. Aspectos económicos y sociales

4 .1 Salud

En el Artículo 4 de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* se estipula que "toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, saludable, aceptable y asequible" (DOF, 2017). Agua saludable se refiere a dos aspectos: por un lado, contar con la cantidad suficiente para vivir y realizar las actividades cotidianas y, por otro, que el agua de la que se dispone sea inocua o segura en términos de no causar enfermedad o daño al consumidor.

La fuente de contaminación más frecuente, y cuyos efectos pueden desencadenar daños agudos en la salud de la población, es las aguas residuales por su contenido de materia fecal y de patógenos (Maier *et al*., 2009). Al mismo tiempo, el agua residual puede contener químicos tóxicos, muchos como desechos de procesos industriales que pueden producir enfermedades que se manifiestan a largo plazo.

La producción de alimentos es la actividad que mayor cantidad de agua consume y es importante que esta agua se use de forma segura para la salud. De manera dispersa, en el país se usa agua residual para riego en diversas áreas sin que se haga una evaluación y seguimiento de riesgos para la salud potencialmente asociados. Debido al manejo de los recursos hídricos en México, en la actualidad debe considerarse no sólo el agua para uso y consumo humano, sino ampliar la posible vía de exposición a través de verduras, especialmente aquellas que se consumen crudas.

4.1.1 Enfermedades relacionadas con agua

Se trata de enfermedades que pueden adquirirse por la ingesta o por el contacto con agua contaminada. En México, la Secretaría de Salud, a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y la Dirección General de Epidemiología (DGEPI), es la entidad facultada para la vigilancia epidemiológica, la cual permite monitorear a nivel nacional los casos de enfermedad, entre ellos los que pueden ser ocasionados por consumo de agua y alimentos contaminados. Los datos oficiales de salud emitidos por la Secretaría de Salud (SS, 2016 y 2017), muestran que las enfermedades infecciosas intestinales causadas por microorganismos incluyen las bacterias: *Salmonella typhi, S. paratyphi, Shigella dysenteriae, Sh. flexnieri, Sh. bioydii, Sh. sonnei, Escherichia coli* enteropatógena, enterotoxigénica, enteroinvasiva, enterohemorrágica, así como protozoarios parásitos como son *Entamoeba hystolitica, Giardia lamblia* y *Cryptosporidium* spp., e infecciones intestinales debidas a virus como son enterovirus, rotavirus, hepatitis agudas de tipo A (Knepper y Ternes, 2010), al igual que otras hepatitis virales, que pueden asociarse con transmisión a través del consumo de agua y de vegetales regados con agua contaminada por heces. Cabe señalar que, en particular para las bacterias, uno de los aspectos más preocupantes –adicional a su presencia en agua– es la resistencia a antibióticos causada por la gran dispersión de fármacos vertidos a cuerpos de agua a través de las aguas residuales que no cuentan con un tratamiento previo (Dalkmann *et al*., 2012).

4.2 Pobreza

En la actualidad, 6.5% de la población mexicana habla una lengua indígena, aunque se autorreconoce como indígena un porcentaje mucho mayor: 21.5% (INEGI, 2015). Las 78 etnias identificadas (Zolla *et al*., 2004) habitan en 25 regiones del sur, centro y norte del país y 23% del territorio indígena biocultural se ubica en las cabeceras de cuenca (Boege, 2008). En municipios indígenas, la población vive

en condiciones de pobreza en un rango de 80 a 89% y de pobreza extrema en un rango entre 41 y 50%. Las mayores concentraciones de pobreza indígena se encuentran en: Oaxaca (32.2%), Yucatán (28.9%), Chiapas (27.9%), Quintana Roo (16.6%) y Guerrero (15.3%) (Coneval, 2014). Asociado con la pobreza y la marginación, la cobertura de servicios de agua potable en viviendas en los municipios indígenas es de apenas 40.2% y, de servicios de drenaje, de 25.5% (INEGI, 2015).

Los indígenas obtienen el agua para uso doméstico no sólo de estos sistemas convencionales, sino de manantiales, ríos, pozos, ojos de agua y arroyos. Por ello, la contaminación de los cuerpos de agua les afecta directamente. La contaminación del agua afecta al menos a 33 de las 78 etnias que habitan en México.

4.3 Educación

De acuerdo con la CONAGUA, un programa efectivo de manejo sustentable del agua requiere la participación desde la ciudadanía en lo individual hasta las organizaciones comunitarias o de organizaciones sociales no gubernamentales. Para lograrlo, en la última década se han puesto en marcha programas gubernamentales para promover la cultura de uso y conservación de agua entre la población de México.

De acuerdo con las evaluaciones que se han hecho de la efectividad de dichos programas, se puede destacar que la evaluación se centra en el cumplimiento de la puesta en marcha de los programas y del uso de los recursos económicos para las acciones de divulgación y capacitación a la población, pero no cuantifica el efecto de los programas en las personas (González y Arzaluz, 2011), es decir, no hay información confiable de que la población esté adquiriendo conocimiento y desarrollando prácticas de conservación y uso sustentable del agua.

4.3.1 Programas de educación y currícula

En 2013, México inició un proceso profundo de reforma educativa que derivó finalmente en el desarrollo de una nueva propuesta de modelo educativo y, en particular, una adecuación de contenidos curriculares. Este nuevo modelo está planteado para la educación obligatoria (de los 3 a los 17 años) que comprende los niveles de educación básica (preescolar, primaria, y secundaria) y educación media superior. En un análisis de la propuesta del nuevo modelo educativo se puede concluir que el tema de calidad del agua se aborda desde una perspectiva descriptiva básica y más con fines de consumo regulado por las características de escasez del agua.

En el documento sobre el nuevo modelo educativo, para el nivel de educación básica (de los 3 a los 14 años), se establece el campo formativo de Exploración y Comprensión del Mundo Natural y Social; en él se incluyen las asignaturas de conocimiento del medio, ciencias naturales y tecnología, y geografía en donde los contenidos curriculares específicos sobre el tema del agua están circunscritos a fomentar la prevención de la contaminación del agua y suelo, y conceptos generales sobre consumo sustentable en la mitigación del cambio climático. En el nivel de educación media superior (de los 15 a los 17 años) no hay referencia explícita al tema de agua.

En una revisión crítica sobre el tema, se deduce que el tema de recursos naturales se aborda como una serie de contenidos curriculares que se cubren en horas clase, pero no se ven los temas de sustentabilidad ambiental y uso de recursos comunes como un tema transversal que abarque varias disciplinas del currículo. En particular, el tema de agua se ve como un recurso limitado que requiere de regulaciones administrativas para su explotación. Esto es una visión limitada que no forma una conciencia global de la responsabilidad ciudadana que tendrán los niños y jóvenes en el futuro en garantizar la sustentabilidad de los recursos comunes del planeta.

4.4 Género

Mujeres y hombres tienen una relación diferente con el agua, poseen intereses y percepciones distintas sobre lo que sucede con el vital líquido. Esto se debe al papel que la sociedad asigna a cada uno; por ejemplo, debido a los roles de género, las mujeres están más relacionadas –aunque no exclusivamente– con los problemas del agua en el ámbito doméstico (poca disponibilidad, tandeos, mala calidad, aumento de tarifas, etcétera), mientras que los hombres conocen más sobre la situación del agua en lo productivo (RGEMA, IMTA, PNUD, 2006).

Cuando existen problemas relacionados con el agua, las mujeres son las responsables de buscar soluciones para proveer del líquido a sus hogares, lo que se suma al trabajo doméstico que en la mayoría de los casos está a su cargo. En ocasiones, estas

actividades suman hasta 30 horas a la semana del tiempo de las mujeres tanto rurales como urbanas (MMA, 2012).

4.5 Áreas Rurales

Dotar de agua y resolver el tema del saneamiento en las comunidades rurales en México es un desafío de gran envergadura debido a las condiciones de pobreza y a las características propias de las comunidades rurales del país. En el año 2010, uno de cada cuatro mexicanos habitaba en alguna de las 188,593 localidades menores de 2,500 habitantes; de éstas 139,156 localidades tienen menos de 100 habitantes (INEGI, 2010). De acuerdo con los cálculos del CONAPO, tres de cada cuatro localidades rurales tienen un alto o muy alto grado de marginación y en ellas reside 61% de la población rural. La marginación en los asentamientos rurales tiende a aumentar conforme se alejan de asentamientos humanos mayores y de las vías de comunicación. Las entidades federativas con mayor número de personas viviendo en localidades rurales son: Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Estado de México, Puebla y Guanajuato.

De acuerdo con los resultados de la Encuesta Intercensal de 2015 realizada por el INEGI, 31.0% de las viviendas de las comunidades rurales menores a 2,500 habitantes no cuentan con drenaje alguno, por lo que sus moradores defecan al aire libre, mientras que los habitantes de 40.0% de las viviendas tienen que acarrear el agua de fuentes relativamente cercanas, aunque en ocasiones el acarreo es de distancias considerables.

A la dispersión geográfica de las comunidades ya señalada, hay que sumarle la escasa inversión pública para el abastecimiento de agua y el mejoramiento de los servicios de drenaje y alcantarillado destinados a estas comunidades. En los últimos años, a pesar de que ha aumentado el monto de inversiones destinadas a la infraestructura, no ha sido suficiente puesto que todavía persisten grandes diferencias.

4.6 Áreas Urbanas

Actualmente, 78% de la población mexicana habita en ciudades, es decir en localidades mayores de 2,500 habitantes. El Sistema Urbano Nacional está integrado por 384 ciudades, de las cuales 11 tienen más de un millón de habitantes y en ellas residen 41.3 millones de personas, lo que representa 51% de la población total nacional (CONAPO, 2012). Las ciudades mexicanas presentan una cobertura del servicio de agua potable de 95.4%, y de alcantarillado de 96.3%. A nivel nacional, aproximadamente 10 millones de habitantes carecen de agua entubada y 11.5 de acceso al alcantarillado (CONAGUA, 2015).

El indicador de cobertura mencionado es insuficiente, ya que no permite identificar las desigualdades que se presentan al interior de cada ciudad, en términos de calidad del agua recibida y de la frecuencia con la que ésta se recibe (Jiménez, B. *et al*., 2011). Sin embargo, una aproximación sobre la calidad del agua recibida en las viviendas urbanas se observa en el resultado de una encuesta efectuada en la Ciudad de México, en la que se encontró que 77% de la población accede al agua para beber mediante la compra de agua de garrafón o embotellada; 11% hierve el agua de la llave; 4% instala filtros en la llave de su casa y sólo 5% la toma directamente de la llave (INEGI, 2008).

La desconfianza sobre la calidad del agua entubada es una tendencia creciente en las últimas décadas. Un indicador de la desconfianza de la población con respecto a beber el agua de la llave es el crecimiento excesivo del mercado de agua embotellada. Un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo señala que el volumen per cápita de agua embotellada consumido en México es el más alto del mundo. En 2010, México consumió 46% del total de agua embotellada en América Latina (BID, 2010).

Por otra parte, a partir del reconocimiento constitucional del derecho humano al agua en 2012, la mala calidad del agua a la que accede una población determinada puede ser denunciada como una violación a dicho derecho (CEUM, 2012). De manera que, además de ser un dato escasamente medido, la mala calidad del agua se ha convertido potencialmente en un elemento de movilización de la sociedad civil para exigir un derecho humano.

4.7 Conflictos relacionados en la industria, minería y agricultura

Los conflictos sociales por la calidad del agua se detonan cuando las comunidades locales perciben en la contaminación de ésta el riesgo de contraer algún tipo de enfermedad o porque afecta directamente sus actividades económicas, principalmente pesqueras o agropecuarias (Ávila, 2003). En menor medida, el interés ciudadano puede exigir la necesidad

de proteger los ecosistemas acuáticos, o bien modificar el paradigma sanitarista del desarrollo urbano que ha utilizado a los ríos y lagos como parte del sistema de drenaje (González *et al*., 2010).

La contaminación que generan la industria y la minería en los cuerpos de agua se puede clasificar de dos maneras: de carácter sistémico y de emergencia ambiental. En el primer caso se encuentran las cuencas que, desde hace varias décadas, tienen un grado avanzado de deterioro por la ausencia de un aparato estatal efectivo que inspeccione, vigile y sancione a las empresas que descargan sus aguas sin previo tratamiento o sin cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la Ley de Aguas Nacionales. Ejemplos de este tipo son las cuencas de los ríos Atoyac, Lerma, Santiago, Blanco y Sabinas, los cuales se caracterizan por su alto nivel de contaminación desde el último tercio del siglo XX. En dichas cuencas se aprecia una creciente movilización de organizaciones ciudadanas que presionan a las autoridades para sanear el cauce.

Por otro lado, la contaminación por emergencia ambiental es aquella que se origina por el derrame de sustancias tóxicas en algún cuerpo de agua como resultado de una fuga accidental. En este rubro se aprecia una alta recurrencia de contaminación por hidrocarburos originados por el percance de vehículos que las transportan o por la sustracción ilegal de gasolina en ductos que atraviesan zonas rurales, así como derrames de sustancias como cianuro o ácido sulfúrico, relacionadas con la actividad minera. Para el año 2016, la PROFEPA reportó 1,882 derrames de hidrocarburos y otras sustancias químicas, de los cuales una gran mayoría terminó en un cuerpo de agua. La contaminación por la agricultura es en la que menos se identifica un carácter contencioso. Las investigaciones sobre el tema han revelado que ni los agricultores ni las autoridades del Gobierno perciben la dimensión del problema, de manera que reproducen prácticas no sustentables, incluso con financiamiento y subsidios de políticas públicas que favorecen el uso intensivo de agroquímicos (Pérez Espejo y Aguilar, 2012).

4.8 Impactos económicos de la calidad del agua

La calidad del agua potable tiene un efecto económico directo por pérdidas en la productividad económica y los costos de atención sanitaria de enfermedades atribuibles a la contaminación del agua. Existen diferentes propuestas metodológicas para valorar este impacto, pero no existe una cifra nacional estimada (Nigenda *et al*., 2002).

En el manifiesto de impacto regulatorio presentado para el proyecto de norma oficial mexicana NOM-250-SSA1-2014 –con la cual se busca endurecer las restricciones de niveles permisibles de contaminantes y simplificar los muestreos– se calcularon costos por implementación de ósmosis inversa para la remoción de arsénico y flúor cercanos a los 4,000 millones de pesos (COFEPRIS, 2013), muy por encima del presupuesto disponible.

Por otra parte, el INEGI calculó para 2015, en el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México, un costo equivalente a 0.3% del PIB por contaminación del agua y de 0.2% por el agotamiento de acuíferos (INEGI, 2017). Esto indica que tendría pleno sentido económico para México el desplegar los recursos y los instrumentos financieros necesarios para preservar la calidad del agua y asegurar la potabilidad del abastecimiento público.

5. Infraestructura para mejorar la calidad del agua

5.1 Potabilización

México cuenta con 922 plantas potabilizadoras con un gasto de diseño instalado de 142 m^3/s (CONAGUA, 2016). De éstas, 48 plantas –con un gasto total de 2 m^3/s– se encuentran fuera de servicio (CONAGUA, 2016). Los datos del INEGI (2015) reportan que 94% de la población total cuenta con acceso a agua proveniente de un sistema público, lo que implica que aproximadamente 6.5 millones de habitantes no cuenta con este servicio. Con respecto a la calidad del agua abastecida, los sistemas de información son poco accesibles al público. En este sentido la ley exige que el agua potable cumpla con los parámetros de calidad definidos por las normas: NOM-127-SSA1-1994 sobre agua para uso y consumo humano, y la NOM-179-SSA1-1998 para agua distribuida por sistemas de abastecimiento público (INEGI, 2016). Ante la incertidumbre de su calidad, la sociedad ha buscado alternativas para tener agua potable, mismas que implican la instalación de sistemas de purificación en los hogares o la compra de

agua purificada. México es el país que más agua embotellada consume en el mundo con 28,453 millones de litros al año (PWC, 2015).

5.2 Depuración

De acuerdo con la CONAGUA (2016a), en 2015 se generaron en México 450 m^3/s de aguas residuales municipales (las cuales incluyen aporte de industrias conectadas al sistema de alcantarillado) y no municipales.[4] Se estima que estas descargas representan anualmente una carga contaminante de 12.1 millones de toneladas de materia orgánica (medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO_5), de las cuales 84% corresponde a descargas no municipales. Para reducir el impacto de dichas descargas, se cuenta con 5,309 plantas de tratamiento que depuran 191.4 m^3/s, de los cuales 47% son descargas municipales y, el resto, industriales. El caudal tratado en 2015 ascendió a 120.9 m^3/s, lo que implica que se trataba 57% de las descargas colectadas en el alcantarillado. En el caso de las plantas municipales, cerca de 79% del caudal tratado pasa por procesos de lodos activados, lagunas de estabilización o sistemas duales (combinación de procesos biológicos o biológicos y fisicoquímicos), lo que en la mayoría de los casos produce efluentes de calidad aceptable para el reúso en diversos sectores. Aun cuando el número de plantas existentes es considerable, el caudal promedio tratado en cada una de ellas es de 36 l/s, lo que indica un gran número de plantas pequeñas que generalmente tienen costos de operación unitarios mayores y cuentan con menor automatización que las plantas de mayor tamaño. De hecho, en 2015 operaban solamente 22 plantas municipales con caudal de operación mayor a 1,000 litros por segundo.

En cuanto a la eficiencia, las plantas de tratamiento municipales e industriales remueven únicamente 19% de la carga contaminante, por lo que aún se descargan 9.8 millones de toneladas de DBO_5 a los cuerpos de agua a lo largo del país (89% de ellas provenientes de descargas no municipales). Como resultado, 32% de los 2,766 sitios donde se monitorea la demanda química de oxígeno presenta niveles de contaminado a fuertemente contaminado (DQO mayor a 40 mg/l) y, en su mayoría, se encuentra cerca de los centros de población que generan las descargas en la zona centro-occidente del país.

Debe mencionarse que en 2015 la inversión en saneamiento fue de 16% de los US$ 2,233 millones invertidos en el sector agua –equivalentes a 0.20% del Producto Interno Bruto (PIB)–, mientras que casi 60% de la inversión fue en agua potable y alcantarillado (CONAGUA, 2016b).

5.3 Inversión en programas de calidad del agua

México cuenta con diversos instrumentos para financiar el desarrollo de su infraestructura y servicios hidráulicos. Los recursos para inversiones de capital provienen en su mayor parte de recursos fiscales vía la transferencia de subsidios del Gobierno federal a estados y municipios. Las inversiones para preservar la calidad del agua abastecida y sanear las aguas residuales forman parte del programa PROAGUA, dividido en los siguientes "apartados":

- APAUR – urbano (infraestructura de agua y alcantarillado)
- PRODI - Proyecto para el Desarrollo Integral de Organismos Operadores de Agua y Saneamiento (eficiencia técnica y comercial)
- APARURAL –rural (cobertura y sostenibilidad)
- AAL – agua limpia (desinfección de agua potable)
- AMPIOS – apoyo para municipios de menos de 25,000 habitantes (fortalecimiento)
- PTAR – plantas de tratamiento de aguas residuales (inversión)
- INCENTIVOS – por el tratamiento de aguas residuales (subsidios a la operación)

La CONAGUA ejecuta directamente cerca de la mitad del presupuesto total en este rubro y participa en 80% de las inversiones (World Bank, 2016); el resto de la inversión proviene de otras áreas del Gobierno y del sector privado. Entre 2010 y 2015 los recursos disponibles llegaron a rebasar el monto estimado para solventar las brechas de cobertura (Campanaro y Rodríguez, 2014), estimada en $32,200 millones de pesos anuales (ANEAS, 2016), pero debido a la situación económica del país, entre 2015 y

4. La CONAGUA (2016a) define a las descargas de agua residual municipal como las que se generan en los núcleos de población y se colectan en los sistemas de alcantarillado urbano y rural, mientras que las no municipales las generan otros usuarios, como la industria autoabastecida, y son descargadas a cuerpos de agua sin ser colectadas en el alcantarillado.

2017 se redujeron drásticamente; el último año la reducción fue superior a 70% (Montoya, 2017).

La inversión en infraestructura sufre de deficiencias en términos de equidad, eficiencia, estabilidad y suficiencia. Los fondos no siempre terminan siendo asignados donde más se necesitan; pueden variar de un año a otro sin que pueda preverse su evolución en el largo plazo y son insuficientes para recuperar el creciente rezago en rehabilitación y ampliación.

El ODG 6 para la provisión sustentable de agua y saneamiento contiene diversos indicadores que se relacionan con la calidad del agua. La clasificación de México de acuerdo con su posibilidad de monitoreo para el ODG 6 se presenta en el **Cuadro 4**.

6. Conclusiones

El interés por la calidad de agua se ha reflejado en la generación de una cantidad significativa de información. Sin embargo, si bien mucho se ha avanzado en el país, aún falta hacer un uso cabal de estos datos para definir soluciones y establecer políticas públicas de

Cuadro 4. Calidad del agua en México y metas relacionadas con el Objetivo de Desarrollo 6

Metas:

6.1 Porcentaje de la población con acceso a agua potable segura: Hay datos sobre acceso y tipo de servicio por lugar de residencia, pero la información sobre la calidad del agua y de los servicios es incompleta o con acceso limitado.

6.2 Porcentaje de la población con servicios de saneamiento gestionados de forma segura y con instalación para lavado de manos con agua y jabón: Existe información sobre acceso, tipo de servicio y proporción de la población que usa servicios básicos de saneamiento y cuenta con manejo de desechos fecales. No hay datos sobre acceso a instalaciones para lavado de manos.

Indicadores

6.3.1 Porcentaje de aguas residuales tratadas de manera segura: Información disponible sobre la proporción de aguas residuales recibidas y tratadas, así como nivel de tratamiento. No hay información clara y suficiente sobre la calidad del agua tratada, operación y mantenimiento de la infraestructura

6.3.2 Porcentajes de cuerpos de agua con buena calidad de agua: En México no se analizan los cinco parámetros de calidad que propone la ONU para los acuíferos.

Meta 6.4.1 Cambio en la eficiencia del uso del agua en el tiempo: Hay estimaciones basadas en datos de productividad nacional, pero no para todas las actividades económicas que propone la ONU.

Meta 6.5 Grado de aplicación de la gestión integrada de los recursos hídricos GIRH (0-100): Nivel Medio, los elementos de la GIRH están institucionalizados y su implementación en marcha. Calificaciones altas para intercambio de datos trasfronterizos e instrumentos de gestión de acuíferos y medias para el manejo de cuencas por falta de cooperación y coordinación interinstitucional.

Meta 6.6 Porcentaje de cambio en el tiempo de los ecosistemas relacionados con el agua medidos de acuerdo con: a) el área de ecosistemas (humedales, bosques y tierras secas); b) la cantidad de agua en los ecosistemas (ríos, lagos y aguas subterráneas); y c) la salud resultante de los ecosistemas: Información disponible sobre volumen almacenado y extensión para principales cuerpos de agua, verificación e interpretación terrestre de datos (incluida la clasificación del tipo de humedal), pero no para datos de la salud de los ecosistemas en todos los cuerpos de agua.

Meta 6.a Porcentaje de ayuda oficial para el desarrollo que se incluye en un plan de gasto coordinado por el Gobierno, ya sea: (1) en tesorería o (2) dentro del presupuesto: De los 32 estados que conforman al país sólo se cuenta con información sobre el gasto para agua y saneamiento en tres de ellos y es difícil aplicar la metodología ONU-GLASS.

largo plazo que efectivamente protejan y preserven la calidad del agua y los ecosistemas asociados con ella; por ejemplo, para completar la normatividad en materia de descargas de aguas residuales.

Cabe aclarar que no es sólo la falta de normatividad con respecto a la calidad del agua lo que causa su contaminación, sino, en mucha mayor medida, su incumplimiento y, de hecho, su falta de vigilancia. La falta de vigilancia de las normas de aguas residuales causa contaminación al ambiente y riesgos a la salud de la población. La falta de seguimiento a la norma de agua potable causa problemas de salud a la población, creando desconfianza sobre la calidad de agua potable y obligando a la población a recurrir a la compra de agua embotellada.

El problema de la contaminación afecta a la población en general, ya que la desconfianza respecto a la potabilización del agua provoca que el consumo de agua embotellada sea un asunto común en el país, pero también notorio por sus impactos más fuertes en la población más desfavorecida como son mujeres, niños, grupos indígenas y pobres. La decisión de atender el problema de la calidad del agua es un asunto de todos los niveles del Gobierno, pero también es responsabilidad de la sociedad.

Los costos de la deficiente calidad de los cuerpos de agua del país son cubiertos de muchas formas, pero además provocan efectos secundarios; por ejemplo, el consumo de agua embotellada trae consigo la generación de millones de botellas de plástico que cada año se desechan. Entender que la calidad del agua puede ser un negocio para todos, es obligación del Gobierno y de la sociedad hacerlo una prioridad.

Cuadro 5. Experiencias exitosas

Las experiencias exitosas en México son dispersas y van desde una escala local hasta nacional, pasando por lo comunitario, lo regional y lo ciudadano. Se seleccionaron porque identifican oportunidades para fortalecer una gestión de la calidad del agua a partir de una visión de conservación ecológica de largo plazo que mantenga servicios ecosistémicos, del saneamiento ecológico como alternativa al saneamiento convencional y de la acción colectiva para identificar problemas y soluciones.

Modelos de Manejo y Uso Sustentable del Agua en las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco (CZH), Oaxaca, México

Esta cuenca se encuentra en la costa de Oaxaca y ocupa una superficie de 282,300 ha, tiene una población de 86,392 habitantes que en su mayoría habita en 851 localidades dispersas y menores a 2,500 habitantes. El sistema CZH ha sido reconocido, nacional e internacionalmente, como de gran importancia por su biodiversidad (González-Mora *et al*., 2009). Desde 2005, la Alianza formada por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) y la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA) trabaja en CZH para el desarrollo de nuevos modelos de manejo del agua en México. El objetivo ha sido consolidar un proceso de gestión participativa e integrada de las cuencas y, en particular, de los recursos hídricos con la participación de comunidades rurales y grupos indígenas con escenarios ambientales y socioeconómicos distintos.

A la fecha, se tienen 42 tipos de Modelos de Manejo y Uso Sustentable del Agua (MUSA) en 29 comunidades de ocho municipios, que benefician a 19,146 personas. Se han realizado 921 obras en total y hay una capacidad instalada para almacenar agua de lluvia y escurrimientos de 2,263 m^3/año; de tratamiento para 12,496 m^3/año de aguas grises, y de reúso de 8,865 m^3/año. Como resultado se purifican 113 m^3 de agua y se evita la descarga de 152,505 m^3 de aguas negras al usar baños ecológicos secos.

Modelo de intervención para la provisión de agua y saneamiento en comunidades rurales dispersas (CRD)

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollar y validar un Modelo de Intervención en comunidades rurales dispersas en México que integra elementos sociales y técnicos para mejorar el acceso a servicios básicos de

agua y saneamiento sustentables. Los actores del proyecto son: Sarar Transformación, que aporta el enfoque metodológico y técnico; World Vision México (WVM), como agencia operativa; 400 familias de cuatro estados de la República Mexicana; y el Banco Interamericano de Desarrollo, como la fuente principal de financiamiento. El proyecto tuvo una vigencia de 2014 a 2017 involucrando y beneficiando a familias en nueve comunidades piloto en el Estado de México, Michoacán, San Luis Potosí y Veracruz. La estrategia socio-técnica para la implementación de los sistemas incluyó (1) la capacitación de promotores locales de ASH –Agua Saneamiento e Higiene, también conocido como WASH, por sus siglas en inglés– en la coordinación y facilitación de diagnósticos participativos, aspectos de diseño, acompañamiento de la comunidad en la construcción, operación, mantenimiento y el monitoreo de los sistemas domésticos; y (2) el diseño técnico de los sistemas de agua y saneamiento, la elaboración de manuales de construcción y de uso-operación-mantenimiento.

Recuperación ambiental de la cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán

Este programa inició en 2003 con el propósito de establecer las bases para el desarrollo sustentable de la cuenca por medio de: (a) detener y revertir el deterioro en la calidad del agua del lago de Pátzcuaro; (b) participar en la solución de conflictos sociales y mejorar la cultura ambiental; (c) reducir la deforestación, erosión y contaminación del suelo; (d) contribuir a fomentar la sustentabilidad en el manejo de los recursos y aprovechar adecuadamente la cantidad de agua superficial y subterránea. El programa constó de cuatro etapas para abordar siete problemas prioritarios: 1) conflictos sociales y cultura ambiental; 2) deterioro de la calidad del agua del lago; 3) deterioro de la salud, bienestar público y pobreza extrema; 4) deforestación, erosión y contaminación del suelo; 5) reducción pesquera y pérdida de la biodiversidad acuícola; 6) escasez de recursos económicos, y 7) disminución de la cantidad de agua del lago y del volumen del agua subterránea.

Se ha realizado más de un centenar de proyectos, acciones y estudios que han generado una serie de beneficios tangibles y medibles. De éstos, los más notables son haber conseguido movilizar voluntades y consensuar a nivel intergubernamental e interinstitucional sobre necesidades, acciones e inversiones a favor de la cuenca, mediante cinco humedales artificiales que a un bajo costo logran reducir la contaminación y los riesgos a la salud y al ambiente, así como la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios de Pátzcuaro y Quiroga.

Decreto de Reservas de Agua en la cuenca del Río San Pedro Mezquital: un nuevo marco para el manejo de la calidad del agua en México

Este río se localiza en la vertiente del Pacífico, en los estados de Durango, Zacatecas y Nayarit. En la actualidad, es el único río que cruza la Sierra Madre Occidental libre de infraestructura y descarga en el mar. Se trata así de una cuenca alóctona que transporta agua, sedimentos, material genético y energía desde la planicie duranguense hasta las lagunas costeras de Nayarit. Estas condiciones únicas en México se han conservado por dos vedas de aguas superficiales establecidas en 1948 y 1955, y que fueron levantadas mediante decreto presidencial el 15 de septiembre de 2014.

La supresión de la veda representó una oportunidad para ordenar las extracciones de agua mediante el establecimiento de una reserva de agua para el ambiente y reservas complementarias para abastecimiento público y generación de energía. La reserva de agua para el ambiente fue determinada a partir de estimaciones de caudal ecológico con base en la NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas (NMX). Esta norma representa un hito en la gestión del agua en México, alcanzado después de veinte años de publicación de la Ley de Aguas Nacionales por la activa participación de la sociedad civil, la academia y diferentes entidades del Gobierno federal.

Referencias bibliográficas

Armienta M.A., Segovia N. (2008). Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico. *Environmental Geochemistry and Health,* 30, 345-353.

Armienta M.A., Villaseñor G., Rodriguez, L.K. Ongley, H. Mango (2001). The role of arsenic-bearing rocks in groundwater pollution at Zimapán Valley, México. *Environmental Geology,* 40, 571-581.

Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C. (ANEAS) (2016). Página de la LXIII Legislatura. Recuperado de Cámara de Diputados: http://www5.diputados.gob.mx/

Ávila, Patricia (2003). De la hidropolítica a la gestión sustentable del agua. En: *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI.* Patricia Ávila (Ed.). Zamora, Michoacán: El Colegio de Michoacán, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, pp. 41- 53.

Boege, Eckart (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México.* México: INAH-CDI.

Campanaro, A., & Rodriguez, D. (2014). *Strengthening the financial system for water in Mexico. From a conceptual framework to the formulation of pilot initiatives.* Washington, D.C.: World Bank.

Cardona A., Carrillo-Rivera J.J., Huízar-Álvarez R., & Graniel-Castro E. (2004). Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico. *Environ Geol,* 45: 350–366 DOI 10.1007/s00254-003-0874-2.

Carrillo-Rivera J.J., Cardona A., Edmunds W.M. (2002). Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosí basin, Mexico. *Journal of Hydrology,* 261, 24-47.

Carrillo–Rivera, JJ, Cardona, A; Huizar-Álvarez R; Graniel, E. (2008). Response of the interaction between groundwater and other components of the environment in Mexico. *Environmental Geology,* 2(303-319).

Cebrián, M. E., Albores A., García-Vargas G., Del Razo L.M. (1994). Chronic arsenic poisoning in humans: The case of México. In: J. O. Nriagu (Ed.), *Arsenic in the environment Part II* (pp. 93–107). New York: Wiley.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (2001). *Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales.* Programa Regional CEPIS/HPE/OPS, 1981-1990. 60pp.

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) (2013). Análisis de impactos y evaluación beneficio costo. Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-250-SSA1-2014. México: COFEPRIS.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2013). *Base de datos de calidad del agua 2013.* México.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2015). *Estadísticas del Agua en México.* Edición 2015. México: CONAGUA, Diciembre de 2015.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2016). Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-CONAGUA. Recuperado de http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2016a). *Estadísticas del Agua en México.* Edición 2016. México City: CONAGUA, Diciembre de 2016.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2016b). *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.* Edición 2016.

CONAGUA-SEMARNAT (2014). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre de 2014. Recuperado de http://www.CONAGUA.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Inventario_Nacional_Plantas1.pdf [Último acceso 31 de marzo de 2017].

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) (2014). La pobreza en la población indígena de México, 2012. México, D.F.

Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2012). *Sistema Urbano Nacional. Catálogo.* México: CONAPO.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) (1917). *Diario Oficial de la Federación* del 5 de febrero de 1917. Última reforma publicada DOF 24-02-2017. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_240217.pdf [10 de marzo de 2017]

Corona, R., Galicia, L., J. L. Palacio-Prieto, M. Bürgi, & A. Hersperger (2016). Local deforestation patterns and their driving forces of tropical dry forest in two municipalities in Southern Oaxaca, Mexico (1985-2006). *Investigaciones Geográficas,* núm. 91, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 86-104.

Chapa Bezanilla D., Sosa Ramírez, J., de Alba Ávila, A. (2008). Multitemporal study on forest fragmentation in Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Madera y Bosques* 14(1):37-51.

Chávez A., Maya C., Durán J., Becerril A., Gibson R., & Jiménez B. (2011). The Removal of Microorganisms and Organic Micropollutants in a Large Scale Unplanned Soil Aquifer Treatment. *Environ Pollut*, 159: 1354–1362. DOI:10.1016/j.envpol.2011.01.008

Chevalier, J.M. & Buckles, D., (1995). *A Land without Gods: Process Theory, Maldevelopment and the Mexican Nahuas.* London and New Jersey: Zed Books. 194 pp.

Dalkman, P., Broszat, M., Siebe, Ch., Willascheck, E., Sakinc, T., Huebner, J., Amelug, W., Grohmann, E., Siemens, J. (2012). Accumulation of Pharmaceuticals, Enteroccoccus, and Resistance Genes in Soils and Soils Irrigated with Wastewater for Zero to 1000 Years in Central Mexico. *PlosOne* 7(9): e45397.

Diario Oficial de la Federación (DOF) (1989). Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. México: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 13 de diciembre de 1989. pp. 7-23.

Diario Oficial de la Federación (2017). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Párrafo adicionado, 8 de febrero de 2012. México: 5 de febrero de 2017.

Dirzo, R. & García, M.C. (1992). Rates of Deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in Southeast México. *Conservation Biology* 6: 84–90.

Downs T.J., Cifuentes-Garcia E., & Suffet I.M. (1999). Risk Screening for Exposure to Groundwater Pollution in a Wastewater Irrigation District of the Mexico City Region. *Environ Health Persp,* 107(7): 553–561. DOI: 10.2307/3434397

Durán-Álvarez, J. C., Becerril-Bravo, E., Castro, V. S., Jiménez, B., & Gibson, R. (2009). The analysis of a group of acidic pharmaceuticals, carbamazepine, and potential endocrine disrupting compounds in wastewater irrigated soils by gas chromatography–mass spectrometry. *Talanta*, 78(3), 1159-1166.

Durán-Álvarez, J. C., Avella, E., Ramírez-Zamora, R. M., & Zanella, R. (2016). Photocatalytic degradation of ciprofloxacin using mono-(Au, Ag and Cu) and bi-(Au–Ag and Au–Cu) metallic nanoparticles supported on TiO2 under UV-C and simulated sunlight. *Catalysis Today,* 266, 175-187.

Durand, L., & Lazos, E. (2004). "Colonization and tropical deforestation in the Sierra Santa Marta, Southern Mexico". *Environmental Conservation* 31 (1): 11–21

Esteller, Vicenta y Díaz-Delgado, C. (2001). Calidad y contaminación del acuífero profundo del Valle de Toluca, Edo de México. México. 1st Joint World Congress on Groundwater, Fortaleza, Brazil, 2001.

Estrada-Arriaga, E.B., & Mijaylova, P.N. (2011). Influence of operational parameters (sludge retention time and hydraulic residence time) on the removal of estrogens by membrane bioreactor. *Environmental Science and Pollution Research,* 18(7), 1121-1128.

Evans, S. (2012). King henequen: Order, progress, and ecological change in Yucatán, 1850-1950. In *A Land Between Waters: Environmental Histories of Modern Mexico*, Edited by Christopher R. Boyer, 328 pp.

Félix-Cañedo, T. H., Durán-Álvarez, J., Jiménez- Cisneros, B. (2013). The Ocurrence and distribution of a group of organic micropolutants in Mexico City's water sources". *Science of The Total Environment,* pp. 109-118.

Flores-Márquez E.L., Jiménez-Suárez G., Martínez-Serrano R.G., Chávez R.E, & Silva-Pérez D. (2006). Study of geothermal water intrusion due to groundwater exploitation in the Puebla Valley aquifer system, Mexico. *Hydrogeol J,* 14: 1216–1230. DOI: 10.1007/s10040-006-0029-0.

Galicia, L. y A. E. Zarco Arista (2014). Multiple ecosystem services, possible trade-offs and synergies in a temperate forest ecosystem in Mexico: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystems Services & Management,* vol. 10, no. 4, pp. 275-288.

Gallegos E., Warren A., Robles E., Campoy E., Calderón A., Sainz G., Bonilla P., & Escolero O. (1999).

The Effects of Wastewater Irrigation on Groundwater Quality in Mexico. *Wat Sci Tech,* 40(2): 45–52.

García de Llasera M.P. & Bernal-González M. (2001). Presence of Carbamate Pesticides in Environmental Waters from the Northwest of Mexico: Determination by Liquid Chromatography. *Wat Res,* 35(8): 1933–1940. http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354 (00)00478-4.

García-Gutiérrez C. y Rodríguez-Meza G.D. (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai: Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable,* 8(3): 1–10. ISSN: 1665-0441.

Gibson, R., Becerril-Bravo, E., Silva-Castro, V., & Jiménez, B. (2007). Determination of acidic pharmaceuticals and potential endocrine disrupting compounds in wastewaters and spring waters by selective elution and analysis by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography* A, 1169(1), 31-39.

González, M.E. y M. Arzaluz (2011). El Programa de Cultura del Agua en el noreste de México. ¿Concepto utilitario, herramienta sustentable o requisito administrativo? *Región y Sociedad,* Vol XXIII, No. 51.

González Reynoso, Arsenio; Hernández M., Lorena; Perló, Manuel; Zamora S., Itzkuauhtli (2010). *Rescate de ríos urbanos. Propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos urbanos.* Ciudad de México: Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, UNAM. 109 pp. Recuperado de https://goo.gl/6MqXzy [Última consulta, 21 de abril de 2017].

Hansen, A.M (2012a). "Lake sediment cores as indicators of historical metal(loid) accumulation – A case study in Mexico". *Applied Geochemistry* 27, 1745–1752

Hansen, A.M. (2012b). Nota técnica: Programa de monitoreo y evaluación de STPB en cuencas hidrológicas y acuíferos. *Tecnología y Ciencias del Agua,* 3(4): 167–195.

Hansen, A.M., F. Mahé & C. Corzo-Juárez (2013). Metodología para determinar la liberación de metales del sedimento al agua en lagos y embalses. *Rev Int Contam Ambie* 29 (3) 179-190.

Hurtado R., Gardea-Torresdey J. (2004). Environmental evaluation of fluoride in drinking water at "Los Altos de Jalisco", in the central México region. *J Toxicol Environ Health* A, 67(20-22): 1741, 1753.

Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) (2016). Forest Carbon Partnership Facility (FCPF). Carbon Fund, Emission Reduction Program. México: 17 de noviembre de 2016.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2008). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2008. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Recuperado de http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2015). Conteo de población. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (marzo de 2017). PIB y cuentas nacionales. Obtenido de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/ee/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2017). Agua. "Cuéntame de México". Recuperado de http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T

Jiménez B. (1995). *Bases para el Manejo Integral de la Cantidad y Calidad del Agua en México.* México: Instituto de Ingeniería-UNAM. 90 pp.

Jiménez B. (1996). *Elaboración del Proyecto de Norma y Fundamentación de la NOM-001-ECOL-1996 para el Control de Descargas a Cuerpos Receptores Nacionales.* México: Instituto Nacional de Ecología y Comisión Nacional del Agua.

Jiménez B. (2001). *La Contaminación Ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada.* México: Limusa, 926 pp. ISBN: 968-18-6042-X (Distribución en Latinoamérica).

Jiménez, B., & Asano, T. (2008). Water reclamation and reuse around the world. Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs. London: IWA, 3-26.

Jiménez, B., González, A., Gutiérrez, R. y Marañón, B. (2011). *Evaluación de la Política de acceso al agua potable en el Distrito Federal.* México: UNAM, Academia Mexicana de Ciencias y Evalúa-DF.

Knepper, T.P., & Ternes, T.A. (2010). Water Quality as a component of a Sustainable Water Supply. En: *Linkages of Sustianability. Graedel,* T.F. y van der

Voet, E. Cambridge, Mass: MIT Press. pp. 233-241.

Lamparelli, C. M (2004). "Grau de trofia em corpos de água do Estado de São Paulo: Avaliação dois métodos de monitoramento". Tese (Doutorado) -Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, São Paulo, Brasil. 235 pp.

Ley de Aguas Nacionales (1992). Ley publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 1 de diciembre de 1992. Última reforma publicada DOF 24-03-2016. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf [11 de marzo de 2017]

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). 1988. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Última reforma publicada DOF 24-01-2017. Recuperada el 11 de marzo de 2017 de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm

Maass, J. M., P. Balvanera, A. Castillo, G. C. Daily, H. A. Mooney, P. Ehrlich, M. Quesada, A. Miranda, V. J. Jaramillo, F. García Oliva, A. Martínez Yrízar, H. Cotler, J. López Blanco, A. Pérez Jiménez, A. Búrquez, C. Tinoco, G. Ceballos, L. Barraza, R. Ayala y J. Sa¬rukhán (2005). Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico, *Ecology and Society,* vol. 10, no. 1, p. 17.

Maier R. M., Pepper I. L., C. P. Gerba (2009). *Environmental Microbiology.* Cambridge, Mass: Elsevier (Academic Press). Recuperado de https://booksite.elsevier.com/samplechapters/9780123705198/Sample_Chapters/01~-Front_Matter.pdf

Martínez, M.L. Pérez-Maqueo, O., Vázquez, G., Castillo-Campos, G., García-Franco, J., Mehltreter, K., Equihua, M., Landgrave, R. (2009). Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montage cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management* 258, 1856–1863. Recuperado de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112709001364

Masera O. R., Ordonez J.M., & Dirzo, R. (1997). Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.

Metcalfe, C. D., Beddows, P. A., Bouchot, G.G., Metcalfe, T.L., Li, H., & Van Lavieren, H. (2011). Contaminants in the coastal karst aquifer system along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Environmental Pollution,* 159(4), 991-997.

Miege, C., Choubert, J.M., Ribeiro, L., Eusèbe, M., & Coquery, M. (2009). Fate of pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment plants–conception of a database and first results. *Environmental Pollution,* 157(5), 1721-1726.

Molina, M.A. (2004). *Estudio hidrogeoquímico en la Comarca Lagunera, México.* M.en C. Tesis, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM, México D.F.

Montoya, M.A. (20 de septiembre de 2017). V. La CONAGUA en el Proyecto de Presupuesto de Egresos 2017. *Ágora-Boletín del Grupo Parlamentario del Partido de la Revolución Democrática,* 15-17.

Morales I., Villanueva-Estrada R.E., Rodriguez R., Armienta M.A. (2015). Geological, hydrogeological and geothermal factors associated to the origin of arsenic, fluoride and groundwater temperature in a volcanic environment "El Bajío Guanajuatense". *Environmental Earth Sciences,* 74, 5403-5415.

Mujer y Medio Ambiente, AC (MMA) (2012). *Agenda de Género y Agua en Iztapalapa: Acciones para el disfrute del derecho al agua.* México.

Nigenda, G., Cifuentes, E., y Duperval, P. A. (2002). *Estimación del Valor Económico de Reducciones en el Riesgo de Morbilidad y Mortalidad por Exposiciones Ambientales.* México: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/valor_eco_riesgos_mort.pdf

Ortega-Guerrero, M.A. (2004). Origin of high concentrations of arsenic in groundwater at the "La Laguna Region", northern Mexico, and implications on aquifer management. In Workshops: Program with Abstracts, 32nd IGC Florence. 1486 pp.

Palacio, José Luis *et al*. (2000). "La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000". *Invest. Geog* [online]. n.43 [citado2018-01-21], pp.183-203. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000300012&lng=es&nrm=iso ISSN 2448-7279

Pérez Espejo, Rosario y Aguilar, Alonso (Coord.) (2012). *Agricultura y contaminación del agua.* Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. 288 pp.

Price Water house Cooper (PWC). Beverage Industry in México (2015). Recuperado de https://www.pwc.com/mx/es/knowledge-center/archivo/20150917-kc-beverage.pdf

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (2017). *Informe de actividades 2016.* Ciudad de México: PROFEPA. 148 pp. Recuperado de https://goo.gl/1LDBSm [Última consulta, 21 de abril de 2017]

Razo, I., Carrizales L., Castro J., Díaz-Barriga F., Monroy M. (2004). Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution,* 152, 129–152.

Red de Género y Medio Ambiente (RGEMA) - Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2006). Agenda Azul de las Mujeres. México.

Reyes-Gómez V.M., Alarcón-Herrera M.T., Gutiérrez M., Núñez López D. (2013). Fluoride and arsenic in an alluvial aquifer system in Chihuahua, Mexico: contaminant levels, potential sources, and co-occurrence. Water, Air, and Soil Pollution 224: 1433, doi:10.1007/s11270-013-1433-4

Sánchez-Guerra M., Pérez-Herrera N. & Quintanilla-Vega B. (2011) Organophosphorous pesticides research in Mexico: epidemiological and experimental approaches. *Toxicology Mechanisms and Methods,* vol. 21, no. 9, 681-691, DOI: 10.3109/15376516.2011.602130

Sandoval Madrigal M.T. (2015). Contaminación por plaguicidas en acuíferos del Valle de Autlán, Jalisco. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo,* 5(10). ISSN 2007 – 7467.

Secretaría de Salud (2016). *Boletín Epidemiológico.* Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Sistema Único de Información. Dirección General de Epidemiología. Boletín No. 1, Vol. 33. 9 de enero, 2016. México. Datos hasta semana 52 del 2015. Recuperado de http://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/direccion-general-de-epidemiologia-boletin-epidemiologico

Secretaría de Salud (2017). *Boletín Epidemiológico.* Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Sistema Único de Información. Dirección General de Epidemiología. Boletín No. 1, Vol. 34. 7 de enero, 2017. México. Datos hasta la semana 52 del 2016. Recuperado de http://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/direccion-general-de-epidemiologia-boletin-epidemiologico

Siemens, J., Huschek, G., Siebe, C., & Kaupenjohann, M. (2008). Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico City–Mezquital Valley. *Water Research,* 42(8), 2124-2134.

Sistema de Información de Calidad del Agua (2016). Comisión Nacional del Agua. Subdirección General Técnica. Gerencia de Calidad del Agua. Subgerencia de Estudios de Calidad del Agua e Impacto Ambiental. Red Nacional del Monitoreo. Ciudad de México. Recuperado de http://files.CONAGUA.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf.

Trujillo-Jiménez, P., Sedeño-Díaz, J.E., Camargo, J.A., López-López, Eugenia (2011). Assessing environmental conditions of the Río Champotón (México) using diverse indices and biomarkers in the fish Astyanax aeneus (Günther, 1860). *Ecological Indicators* 11, 1636–1646

Vaca RA, Golicher DJ, Cayuela L, Hewson J, Steininger M (2012). Evidence of Incipient Forest Transition in Southern Mexico. *PLoS ONE* 7(8): e42309

Valenzuela-Vásquez L., Ramírez-Hernández J., Reyes-López J., Sol-Uribe A., Lázaro-Mancilla O. (2006). The origin of fluoride in groundwater supply to Hermosillo City, Sonora, México. *Environmental Geology* 51, 17-27.

Vega-Granillo, E. L., Cirett-Galán, S., De la Parra-Velasco, M. L., & Zavala-Juárez, R. (2011). Hidrogeología de Sonora, en *Panorama de la geología de Sonora, México,* pp. 57-88. México: UNAM-Instituto de Geología.

Vega-Granillo, Ricardo; Vidal-Solano, Jesús Roberto; Herrera-Urbina, Saúl Island (2011). Arc tholeiites of Early Silurian, Late Jurassic and Late Cretaceous ages in the El Fuerte region, northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas,* vol. 29, núm. 2, pp. 492-513. Querétaro, México: UNAM.

Velasco Murguía, A., E. Durán Medina, R. Rivera y D. Barton Bray (2014). Cambios en la cobertura arbolada de comunidades indígenas con y sin iniciativas de conservación, en Oaxaca, México. *Investigaciones Geográficas,* 83: 56-74.

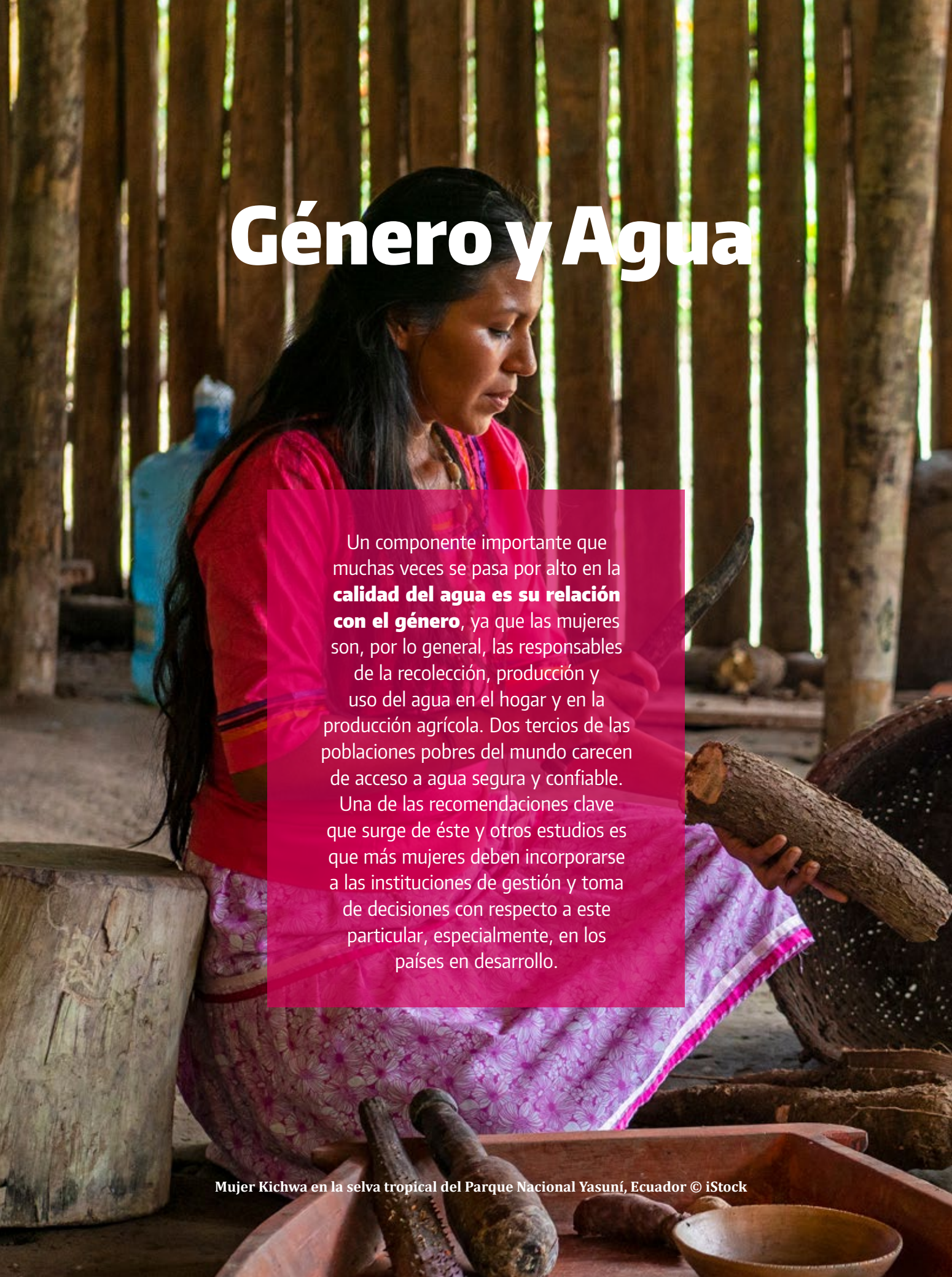
Velázquez, A., J.-F. Mas, J.L. Palacio-Prieto & G. Bocco (2002). Land cover mapping to obtain a current profile of deforestation in México. *Unasylva* 210, Vol. 53.

World Bank (2016). México - Revisión del gasto público. Washington D.C.: World Bank Group. Recuperado en marzo de 2017 de http://documents.worldbank.org/curated/en/284151472615491033/Mexico-Public-expenditure-review

Zolla, Carlos; Emiliano Zolla Márquez (2004). *Los pueblos indígenas de México, cien preguntas.* México: UNAM.

Género y Agua

Un componente importante que muchas veces se pasa por alto en la **calidad del agua es su relación con el género**, ya que las mujeres son, por lo general, las responsables de la recolección, producción y uso del agua en el hogar y en la producción agrícola. Dos tercios de las poblaciones pobres del mundo carecen de acceso a agua segura y confiable. Una de las recomendaciones clave que surge de éste y otros estudios es que más mujeres deben incorporarse a las instituciones de gestión y toma de decisiones con respecto a este particular, especialmente, en los países en desarrollo.



Mujer Kichwa en la selva tropical del Parque Nacional Yasuní, Ecuador © iStock

Género, la mujer y la calidad del agua

Frances Henry, Milena Cabrera Maldonado, Neela Badrie, Mónica Moraes R., María Eugenia García, Christina Villamar, Banu Örmeci y Dayra Álvarez

Introducción

Este capítulo trata sobre un importante, pero repetidas veces ignorado, componente de la calidad del agua y su relación con el género, más específicamente, con las mujeres a cargo del uso que se da al agua en los hogares y en la producción agrícola. Las mujeres en muchas regiones del mundo en desarrollo son quienes más utilizan el agua pero, debido a las circunstancias económicas y ambientales, en muchos casos se ven obligadas a usar agua muy por debajo de la calidad aceptable para consumo y uso humano.

La mayoría de los 1,200 millones de pobres en el mundo carecen de acceso a agua segura y confiable, y dos tercios son mujeres. El desvío de agua para su uso en la industria y la agricultura, así como para la generación de energía, reduce su disponibilidad para usos domésticos, lo que complica aún más su acceso para la gente pobre, y sobre todo, para las mujeres. En todo el mundo, más de 2,600 millones de personas aún carecen de acceso a inodoros u otras formas de servicios sanitarios de calidad, y los problemas de acceso y uso del agua en muchos casos dan lugar a problemas de salud que afectan a las mujeres en particular. La falta de agua o el agua de mala calidad ocasionan una gran variedad de enfermedades originadas o transmitidas por ella, ya sea por falta de higiene o porque están en ella dispersas. En la mayoría de las culturas, el rol y la responsabilidad en cuanto al uso y manejo del agua entre los hombres y las mujeres es diferente. Las mujeres usan el agua para la producción, su consumo y fines domésticos, como cocinar, limpiar, atender la salud y la higiene, y también para el cultivo de sus propios alimentos, si cuentan con acceso a terrenos. En las áreas rurales, las mujeres y las niñas recorren largas distancias a pie para ir a buscar agua, que en muchas ocasiones, les toma más de 4 a 5 horas al día; tienen que cargar pesados recipientes y esperar en largas colas. Esta enorme responsabilidad por obtener agua (y leña) les impide el acceso a la educación, a la generación de ingresos, a la participación en la vida cultural y política, y al descanso y el esparcimiento (UNCTAD, 2011; Both ENDS, 2006).

Aquí se presenta el trabajo de ocho científicas con conocimiento y experiencia sobre la forma en que la calidad del agua afecta a los humanos y, en particular, a las mujeres. El trabajo se divide en cinco secciones: 1) el papel del agua en el origen de las afecciones y las enfer-

Este trabajo fue escrito de manera cooperativa por miembros del Comité de Mujeres en la Ciencia de IANAS. Organizado y editado por **Frances Henry** **franceshenry31@outlook.com** (Canadá). Autoras: **Milena Cabrera Maldonado** **milcama4@hotmail.com** (República Dominicana), **Neela Badrie** **neela.badrie@sta.uwi.edu** (Caribe), **Mónica Moraes R.** **monicamoraes45@gmail.com** (Bolivia), **María Eugenia García** **mauge-garcia@gmail** (Bolivia), **Christina Villamar** **christina.villamar@usach.cl** (Ecuador), **Banu Örmeci** **banu.ormeci@Carleton.ca** (Canadá) y **Dayra Álvarez** **dayraalvarez@hotmail.com** (Panamá).

medades, con especial atención en la República Dominicana; 2) una visión general del estudio de caso de la región del Caribe; 3) un estudio de caso de un área subdesarrollada de Bolivia; 4) un resumen del estudio de caso de Ecuador; 5) gestión de aguas residuales y calidad del agua; 6) anexo que se refiere a los parásitos del agua. Una sección final ofrece recomendaciones para mejorar la calidad del agua y, por consiguiente, la experiencia y vida de las mujeres.

1. El agua y la salud de las mujeres

Milena Cabrera M.

No es posible separar el agua de la salud del ser humano. Es indispensable poder contar con agua de calidad y estar conscientes de que la calidad del agua repercute directamente en la calidad de vida. El agua es un derecho fundamental de la vida humana: a) es un derecho humano elemental relacionado con la ingesta y, por tanto, la base de otros derechos humanos; b) como recurso, es un bien económico del dominio público y el eje del desarrollo económico de una nación, y está estrechamente vinculado a la producción de alimentos, la generación de energía, la industria y la minería, el transporte y, además, constituye un apoyo al turismo, y c) propicia buena cohesión social y compañerismo entre la gente.

La mayoría de los hogares en las ciudades de los países latinoamericanos cuenta con agua corriente y agua potable. Sin embargo, se debe destacar que el saneamiento del agua en algunos casos es muy malo. La importancia de la contaminación del agua y sus enormes efectos en la salud y la dinámica familiar no deben subestimarse.

Los problemas relacionados con el saneamiento, el suministro y almacenamiento del agua están estrechamente relacionados. El saneamiento no debe entenderse simplemente como un medio de eliminación de residuos para evitar la contaminación del ambiente. Debe incluirse en las políticas generales de protección del medio ambiente para evitar enfermedades y proteger la calidad de vida. El suministro es un factor de suma importancia, ya que hoy día existen comunidades donde no es posible obtener agua potable para el consumo diario. Es por lo que el almacenamiento de agua en los hogares, donde las mujeres desempeñan un papel preponderante, debe basarse en políticas de salud que eviten los vectores y otras enfermedades causadas por parásitos.

El agua es vital para el buen funcionamiento del organismo, por lo que es primordial contar con acceso a ella. Por siglos, el papel de las mujeres en el abastecimiento de agua ha sido fundamental para llevar a cabo las tareas del hogar, pero en muchas ocasiones esta agua no es de buena calidad y, en consecuencia, afecta la salud de la familia.

La hidratación diaria es vital para el buen funcionamiento del cuerpo. En un adulto sano, una deshidratación de 2.8% del peso corporal por exposición al calor o por ejercicio intenso, ocasiona una disminución en la concentración, el rendimiento físico, la memoria a corto plazo, y produce un mayor cansancio, dolores de cabeza y lentitud en los tiempos de respuesta.

Las enfermedades infecciosas transmitidas por agua cobran hasta 3.2 millones de vidas cada año, cifra equivalente a 6% del total de muertes en el mundo. La carga de morbilidad que se atribuye a la falta de agua, saneamiento e higiene es equivalente a 1.8 millones de muertes y a la pérdida de más de 75 millones de años de vida sana.

Los desechos constituyen un problema importante que afecta el suministro y la calidad del agua. El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRI) de la República Dominicana advierte que, de mantenerse el desperdicio del agua en las proporciones actuales, sus principales centros urbanos experimentarían grandes problemas de abastecimiento para 2025. La ciudad de Santo Domingo produce 420 millones de litros de agua potable al día. Ya se ha anunciado un plan de racionalización de ella, porque hay charcos de agua en las calles a causa de tuberías rotas, al igual que lavanderías que no la cuidan. El 58% de su suministro en la República Dominicana se desperdicia.

Existen riesgos asociados con el uso del agua. Durante todo el ciclo que sigue el agua para el consumo humano, la contaminación aislada o generalizada, ya sea industrial, agrícola o urbana, puede reducir su calidad y hacerla inadecuada para su uso. Los sistemas de suministro de agua, lugares de esparcimiento y asentamientos hídricos también representan un riesgo para la salud humana. La contaminación del agua por elementos químí-

cos o microbiológicos puede dar lugar a enfermedades que aparecen en cuestión de horas y, a veces, años. Hay aguas contaminadas por industrias cuyos residuos químicos pueden ser factores de riesgo de cáncer. Comer alimentos que se han lavado con agua contaminada, o ingerir ésta, puede ocasionar síntomas desde leves a muy graves, dependiendo de la susceptibilidad de la persona. Los bebés, debido a su nutrición basada principalmente en alimentos complementados con agua, se encuentran particularmente en riesgo de este tipo de contaminación, a menos que se les amamante, lo cual promueve vigorosamente la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Las enfermedades transmitidas por el agua son causadas por el consumo de agua contaminada con restos fecales de humanos o animales y contiene microorganismos patógenos. Se cuenta con información disponible sobre ciertas enfermedades relacionadas con el agua, como la salmonelosis, el cólera y la shigelosis, pero otras, como la malaria, la esquistosomiasis u otras infecciones de reciente aparición, como la legionelosis o el Coronavirus, o el Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SRAS), requieren de análisis e investigación. Se estima que las enfermedades diarreicas causan alrededor de 3.6% de todas las patologías en los primeros años de vida ajustados por discapacidad debido a enfermedades, y causan 1.5 millones de muertes al año (OMS, 2012).

Entre las enfermedades que se atribuyen al agua contaminada por microorganismos, transmitidas por vectores o por vía fecal-oral, la más frecuente en la República Dominicana es el dengue. Del 1 de enero hasta el 23 de diciembre de 2017, se reportaron 1,344 casos, incluyendo 24 muertes con sospecha de esta enfermedad. El mismo año, la Leptospira causó 777 casos sospechosos y 76 muertes, y se sospecharon y confirmaron 118 casos de cólera que causaron cuatro muertes. Esta cifra representa una reducción significativa en la morbilidad y mortalidad por la enfermedad, en comparación con el período de 2016, cuando se registraron 1,154 casos y 27 muertes. En las últimas semanas de 2017, se reportaron 9,058 episodios de enfermedad diarreica aguda y 389 casos de enfermedades transmitidas por alimentos.

El efecto del agua en la salud de las mujeres es particularmente importante durante el embarazo, ya que desempeña un papel decisivo en el correcto desarrollo de la madre y el feto. Es también importante para mantener la cantidad y calidad de la leche materna.

El acceso al agua y al saneamiento es uno de los principales requisitos para disfrutar de una buena salud y afecta a hombres y mujeres de forma muy diferente. La falta de servicios de agua potable y saneamiento básico es un grave problema para las mujeres y las niñas que viven en barrios pobres y hacinados de ciudades y áreas rurales de algunos países.

El papel tradicional de las mujeres en el hogar explica por qué los hombres dedican más tiempo a las actividades remuneradas y las mujeres se ocupan de las tareas domésticas, un trabajo necesario para el buen funcionamiento de nuestra sociedad, pero que no es reconocido ni remunerado. Por esto, cuando no hay servicio de agua (o es limitado) las mujeres del mundo, que son las principales usuarias, proveedoras y administradoras del servicio, dedican más de seis horas al día para buscar agua y hervirla para poderla beber, y también para cocinar, bañar a los niños, limpiar la casa y lavar la ropa, en lugar de ir a la universidad, desempeñarse en un empleo remunerado o descansar. Otro problema grave es que las mujeres y las niñas que no tienen acceso a instalaciones para bañarse, con frecuencia recorren largas distancias a pie y solas durante la noche, para evitar que las vean o molesten y acosen mientras se bañan. Son obligadas a defecar en espacios abiertos, lo que atenta contra su dignidad y pone en peligro su seguridad personal.

Otro ejemplo de desventaja específica de género es el impacto derivado de este trabajo en la salud de las mujeres. El cargar agua sobre la cabeza tiene efectos nocivos para la salud, ya que puede ocasionar problemas en la espina dorsal cervical. Es común escuchar a la gente en las áreas rurales decir que los hombres desarrollan trabajos más pesados que las mujeres, y afirmar que el trabajo que desarrollan las mujeres es relativamente ligero. Empero, un balde de agua que se carga en la cabeza puede pesar hasta 40 kg y se ha demostrado que esto perjudica el desarrollo y la salud de la columna vertebral y ocasiona deformidades, enfermedades artríticas y lesiones.

El consumo de energía física que implica este trabajo puede llevar a una ingesta nutricional insu-

ficiente. La falta de agua y servicios de saneamiento son una preocupación mayor entre las mujeres, ya que puede ocasionar problemas de salud entre los miembros de la familia. En países como la República Dominicana, donde los servicios de saneamiento son limitados para los pobres, defecar al aire libre en las orillas de ríos, arroyos y carreteras o en terrenos baldíos, parece presentar menos problemas para los hombres que para las mujeres. Las mujeres suelen apreciar los inodoros más que los hombres y reportan más ventajas derivadas de las instalaciones sanitarias que van desde la comodidad y la privacidad hasta un entorno doméstico limpio.

El abastecimiento de agua tiene un gran impacto en la protección y seguridad de las familias, particularmente en mujeres y niñas. Las mujeres recorren largas distancias a pie, y aunque consideran que el agua es vital en las actividades del hogar, las consecuencias de no contar con fácil acceso a ella les causa estrés y frustración.

El agua es fundamental para las funciones del organismo y de extrema importancia para realizar las labores diarias del hogar. El acceso a agua potable de buena calidad es un derecho de todo ser humano. Las mujeres, quienes son las que se encargan de recolectar, usar y conservar el agua, son las más afectadas por las enfermedades. Es por esta razón que la inequidad de género da lugar a problemas sociales, culturales y políticos que requieren solucionarse por el bien de la salud de las mujeres. Las mujeres son el núcleo de la familia.

2. Perspectivas de género – La calidad del agua en los hogares de América Latina y el Caribe

Neela Badrie

Acceso a agua de buena calidad

Imagine pasar un día sin acceso a agua limpia y segura para beber, cocinar, lavarse o bañarse cuando lo desee en su hogar de la región del Caribe, y piense en las necesidades y prioridades de las mujeres y las niñas. Según el informe del Programa Conjunto OMS/UNICEF 2017 de Monitoreo de Abastecimiento de Agua, en 2015, 29% de la población mundial (2,100 millones de personas) carecía de servicios de agua potable gestionados de manera segura, o sea, agua en el hogar. El **Cuadro 1** muestra los suministros de agua potable que se proporcionaron a la población de los países caribeños en 2015, en los que la mayoría de los países suministraron entre 93 y 98% del servicio básico nacional de agua potable, con excepción de Haití. En el caso haitiano, el suministro básico nacional de agua potable fue de 64%, con una diferencia de 40% entre el servicio básico rural y 81% en el servicio básico urbano. Aproximadamente 4 de los 9 millones de habitantes de Puerto Príncipe carecen de acceso a agua segura (Khasdurian, 2013), por lo que su índice de vulnerabilidad ante las enfermedades transmitidas por el agua es muy alto (Centro de Desastres del Pacífico, 2016).

Muchas áreas rurales del Caribe viven sin un suministro de agua corriente. Algunas personas recorren muchos kilómetros a pie para abastecerse de agua potable. Su única fuente de agua proviene de ríos y tomas de agua o de camiones cisterna, a cambio de un pago. La recolección de aguas pluviales podría ser un medio de autosuficiencia para estas comunidades, en especial en las islas del sur del Caribe, donde los niveles de precipitación son altos (Asociación Mundial para el Agua, Caribe, 2017).

En Trinidad y Tobago es posible encontrar tanques de almacenamiento de aguas pluviales tanto en áreas urbanas como rurales, ya que es muy común recolectar agua de lluvia, y muchos prefieren su sabor. Por otra parte, los habitantes de las áreas rurales son quienes más dependen de esta agua, porque a veces constituye su único suministro (Meera y Ahammed, 2006). Además, la calidad del agua recolectada en las azoteas en muchos casos no cumple con los valores orientativos en agua potable. Las fuertes precipitaciones durante la temporada de lluvias se convierten en el medio ideal para la propagación de enfermedades patógenas relacionadas con el agua. Estos patógenos son arrastrados a ríos, lagos y arroyos, e incluso a canales de riego de cultivos superficiales, junto con las aguas de tanques sépticos defectuosos y de letrinas que se trasminan o desbordan, o de actividades recreativas (Roslev y Bukh, 2011).

Una encuesta realizada entre los habitantes de seis comunidades de Granada reveló que aquéllos experimentaron diversos problemas relacionados con el agua, como interrupciones del servicio, ca-

sos de "agua sucia" y otros problemas en el servicio (Neff, 2013). La gravedad del "agua sucia" podía variar desde una ligera decoloración hasta lo que los residentes describieron como "lodo". Sistemas de almacenamiento rudimentarios capturan y almacenan el agua de lluvia en baldes y barriles de lluvia y no están conectados a los hogares.

Perspectiva de género

En la sociedad de Trinidad y Tobago se espera que los hombres sean los proveedores y protejan a las mujeres, niños y a la comunidad, y se consideren a sí mismos como figuras de autoridad (Ryan, 2013). Se espera que las mujeres, por otro lado, sean quienes interactúen y se relacionen con los demás, además de encargarse de la crianza y otorgar cuidados tanto dentro como fuera del hogar. Por lo tanto, contar con agua potable en las llaves es indispensable para que las mujeres y las niñas puedan dedicar más tiempo a la educación, la generación de ingresos e, incluso, a las actividades de construcción y económicas que mejorarán la calidad de vida de sus familias y su propia salud y bienestar (PNUD Agua, 2006). El enfoque de atención en los hogares implica que debe contarse con suficiente agua de calidad para evitar contraer infecciones secundarias, así como para reducir el peso de la responsabilidad de quienes prodigan los cuidados, que en la mayoría de los casos son mujeres y niñas (PNUD, 2006). Además, las mujeres tienen necesidades de higiene específicas durante la menstruación, el embarazo y la crianza de los hijos (ONU Agua y Género, 2018), y dado que son quienes suministran la mayor parte del agua para el hogar, es a ellas a quienes más afecta el agua contaminada (Cap-Net/GWA 2006).

Salud y enfermedades transmitidas por el agua

Durante el Foro Mundial del Agua de 2018 celebrado en el Caribe, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), estableció objetivos encaminados a velar por la seguridad del suministro de agua y prevenir enfermedades transmitidas por ella en el Caribe (Fletcher, 2018). La salud de las mujeres, así como la dignidad y el sentido de valía personal pueden verse afectados por su experiencia en la recolección de agua y, en particular, por las afecciones y enfermedades derivadas de la falta de saneamiento y por la asignación del agua en el hogar (Sorenson *et al*., 2011). Para las personas con deficiencia inmunitaria que viven con VIH/SIDA, su estado hace imperativo contar con un suministro seguro y adecuado de agua para beber y para el cuidado personal (UNICEF, 2005). Además, se recomienda que las mujeres embarazadas y los bebés tomen precauciones adicionales para reducir el riesgo de infecciones ocasionadas por agua contaminada.

Cuadro 1. Porcentaje de servicios de agua potable que se brindó a las poblaciones de los países del Caribe en 2015

Países del Caribe	Servicio básico nacional	Servicio limitado nacional	Servicio nacional no mejorado	Nacional sin servicio	Servicio básico rural	Servicio básico urbano
Antigua y Barbuda	97	-	3	0	(-)	(-)
Barbados	98	0	2	0	(-)	(-)
Dominica	97	-	4	0	(-)	(-)
Grenada	96	1	0	3	(-)	(-)
Guyana	95	1	1	2	(93)	(100)
Haití	64	7	29	0	(40)	(81)
Jamaica	93	3	2	2	(88)	(97)
Santa Lucía	98	2	0	0	(98)	(98)
San Vicente y Las Granadinas	95	-	4	1	(-)	(-)
República de Surinam	95	1	1	1	(88)	(98)
Trinidad y Tobago	97	1	2	0	(-)	(-)

Fuente: Preparado por OMS/UNICEF JMP, 2017. (-) no hay datos disponibles.

El Protocolo sobre el Agua y la Salud define las enfermedades relacionadas con el agua como "cualquier efecto adverso de importancia en la salud humana, como la muerte, la discapacidad, las enfermedades o trastornos causados, directa o indirectamente, por el estado del agua, o cambios en la cantidad o calidad de ésta". Entre los peligros o agentes causantes directos se incluyen bacterias, virus, protozoos, helmintos, sustancias químicas y factores físicos personales (Bartram *et al*., 2015). Las enfermedades transmitidas por el agua están relacionadas con una importante carga de morbilidad en todo el mundo. Son responsables de 2 millones de muertes cada año, la mayoría de ellas siendo de niños menores de 5 años (OMS, 2018). Las prácticas adecuadas de agua y saneamiento en el hogar pueden aumentar la resistencia a los riesgos de enfermedades transmitidas por agua.

Uno de los objetivos de la agenda 2030 establecidos por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Asociación de Aguas y Aguas Residuales del Caribe es combatir la hepatitis y otras enfermedades transmitidas por el agua dentro de las islas, sin perder de vista la importancia de un sistema de suministro de agua limpio, seguro y confiable (Fletcher, 2018). La OMS tiene conocimiento de varias enfermedades transmitidas por el agua (Bartram y Hunter, 2015). El **Cuadro 2** muestra algunas enfermedades relacionadas con el agua en el Caribe.

Cuadro 2. Algunas de las enfermedades referidas que se relacionan con el agua en el Caribe

Enfermedad	Agente
Gastroenteritis	Virus
Hepatitis A	Virus
Hepatitis E	Virus
Dengue	Virus
Giardiasis	Protozoario
Disentería bacilar/Shigelosis	Bacteria
Cólera	Bacteria
Diarrea	Bacteria
Enfermedad del Legionario	Bacteria
Helicobacter pylori/mucosa gástrica	Bacteria
Fiebre tifoidea	Bacteria

Un estudio realizado por el PNUD sobre jóvenes en Trinidad y Tobago identificó pésimas condiciones ambientales y los problemas de abastecimiento de agua, en particular, como causas importantes de enfermedades gastrointestinales que causan morbilidad e infecciones de la piel (PNUD, 2001). Un estudio reciente, realizado sobre la percepción rural y urbana de la calidad del agua potable en áreas rurales y urbanas en Trinidad, reveló que menos de la mitad de los participantes (47.8%) tenía conocimiento sobre las enfermedades relacionadas con el agua (Mc Clean, 2018).Otro estudio realizado en la isla de Santa Lucía, Moutoute y Cashman (2015) indicó que las mujeres tenían más conocimiento sobre la calidad del agua debido a sus roles y responsabilidad como amas de casa. Sin embargo, una investigación que evaluó el conocimiento de las madres sobre enfermedades transmitidas por el agua y la prevención reveló que, aunque la mayoría de las madres tenían conocimiento sobre el cólera, sólo las que tenían una educación básica secundaria sabían de otras enfermedades transmitidas por el agua, como la fiebre tifoidea y la gastroenteritis (Sharmila *et al*., 2017).

La diarrea es una de las principales causas de muerte infantil y fue responsable de aproximadamente 8% de las muertes de niños menores de 5 años en todo el mundo en 2016 (UNICEF, 2018). Esto se traduce en la muerte de más de 1,300 niños pequeños al día o aproximadamente 480,000 niños al año. En el **Cuadro 3** se puede observar que la mayoría de los países caribeños muestra un porcentaje de 0-4% muertes por diarrea de niños menores de 5 años, con la excepción de Haití, que muestra 10%. Las causas más comunes de enfermedad diarreica severa incluyen rotavirus, *Escherichia coli* patógena, *Campylobacter jejuni* y parásitos protozoarios. El rotavirus es una causa común de gastroenteritis, así como causa principal de diarrea infantil grave, además de ser responsable de aproximadamente 40% de todos los ingresos hospitalarios por diarrea entre menores de 5 años en todo el mundo (UNICEF, 2012). Son comunes las infecciones con protozoos patógenos, como *Entamoeba histolytica, Giardia lamblia* y *Cryptosporidium* spp., aunque los patógenos bacterianos son responsables de la mayoría de los casos de enfermedades diarreicas (UNICEF, 2012). Las enfermedades diarreicas epidémicas son causadas por *Shigella* y *Vibrio cholera*. En general, se ha asociado la mejora del agua potable y el sa-

neamiento con un menor número de casos de diarrea en entornos de ingresos bajos y medios (Wolfe *et al*., 2014).

En un estudio sobre la carga y el impacto de la gastroenteritis aguda (GEA) y los patógenos transmitidos por los alimentos en Trinidad y Tobago, la prevalencia mensual de GEA fue más alta entre niños menores de 5 años (1.3 episodios/año) y la duración promedio de la diarrea fue de 2.3 días (rango 2-10 días) (Lakhan *et al*., 2013). En general, 56 (10%) de las muestras de GEA dieron positivo para patógenos transmitidos por alimentos. Se estimó que en 2009 ocurrieron 135,820 casos de GEA (84%). En general, se ha asociado la mejora del agua potable y el saneamiento con un menor número de casos de diarrea (Wolfe *et al*., 2014).

Se han reportado casos de Enfermedad del Legionario en relación con la presencia de *Legionella pneumophila* en el agua potable en el Caribe (Valster *et al*., 2011).

Los niños en edad escolar son especialmente propensos a las infecciones por parásitos porque su alto nivel de actividad los pone en contacto frecuente con el agua y el suelo contaminados. Un estudio realizado con niños jamaicanos de 9 a 12 años puso de manifiesto los efectos debilitantes de la tricuriasis (tricocéfalo) (UNICEF, 2005). El tratamiento de los niños infectados dio lugar a mejoras inmediatas en la memoria a corto y largo plazos. Se observó un aumento importante en la asistencia a la escuela de niños no infectados; en algunos casos, los niños infectados asistían sólo la mitad del tiempo que sus compañeros no infectados.

Prácticas de seguridad alimentaria

Las enfermedades transmitidas por los alimentos son uno de los problemas de salud pública más comunes en la región del Caribe y se ha observado un incremento de 26% desde 2010 (St. Lucia News Online, 2015), a partir de la exposición a alimentos o bebidas contaminados. Las personas afectadas suelen experimentar diarrea grave, vómitos, dolor de estómago, a veces acompañados de fiebre, dolores de cabeza y otros síntomas (Morgan, 2017). La OMS ha estimado que 70% de los episodios diarreicos son causados por alimentos contaminados biológicamente. Las enfermedades transmitidas por alimentos asociados con patógenos microbianos u otros contaminantes de los alimentos son una grave amenaza para la salud en los países en desarrollo y desarrollados. Los brotes de estas enfermedades son capaces de propagarse de manera rápida en todo el mundo y afectan de manera desproporcionada a niños y ancianos (Satcher, 2000).

Cuadro 3. Cálculos de la UNICEF sobre las causas de muerte infantil, diarrea 2016

País	Menos de 5 muertes por diarrea	% de menos de cinco muertes por diarrea
Global	477,293	8
Antigua y Barbuda	-	0
Barbados	-	0
Dominica	-	1
Grenada	-	0
Guyana	22	4
Haití	1,720	10
Jamaica	3	0
San Cristóbal y Nieves	0	0
Santa Lucía	-	0
República de Surinam	3	2
Trinidad y Tobago	2	0
Vicente y Las Granadinas	1	4

Fuente: Cálculos de 2018 del Grupo de Estimaciones de Epidemiología Materna e Infantil de la OMS (MCEE). http://apps.who.int/gho/data/node.main.ChildMort?lang=en

En un estudio realizado por Franklyn y Badrie (2015) en que analizaron las prácticas de higiene de los vendedores de alimentos y la percepción de los consumidores sobre la seguridad de éstos durante el Carnaval en la isla de Tobago, las Indias Occidentales, descubrieron que la mayoría de los vendedores eran mujeres (70%) y, la mayoría (68%), no había limpiado los utensilios. Del restante 32% que sí había limpiado los utensilios, 24% usó agua limpia (agua sin usar y sin detergente), 12% había usado agua sucia (agua que se había usado y que estaba almacenada en recipientes), 6% usó agua jabonosa fría y ninguno de estos grupos usó agua jabonosa tibia. Casi la mitad de los vendedores (48%) no contó con acceso al agua y 82% pudo ingresar a instalaciones sanitarias cercanas.

Mediante un método observacional de las prácticas higiénicas por parte de los vendedores de la comida callejera llamada "dobles" (bocadillos de pan de garbanzos) en Trinidad, las Indias Occidentales, se confirmó que algunos vendedores contaban con recipientes con grifos de agua (85.7%), pero que los baños que usaban no estaban cerca (97.5%) (Benny-Ollivierra y Badrie, 2007). Alrededor de 30.6% de los encuestados indicaron que se enfermaron después de comer "dobles", pero únicamente 2.7% buscó atención médica.

Conclusiones

La igualdad de género ya se ha reconocido desde hace mucho tiempo como uno de los principales objetivos de desarrollo y un derecho humano (UNESCO, 2014). Implica que los intereses, necesidades y prioridades de mujeres y hombres deben tomarse en consideración, y que debe reconocerse la diversidad de los diferentes grupos de mujeres y hombres. Ha habido un avance considerable en los esfuerzos que ha realizado el Caribe para impulsar a las mujeres como actores con plena capacidad en el proceso de desarrollo, al mismo tiempo que se insta a hombres y niños a participar de forma activa en el proceso de transformación social y en los esfuerzos encaminados a reducir las brechas de género respecto a oportunidades y derechos.

La incorporación de la equidad de género en la política en todos los niveles será fundamental para lograr que todos cuenten con agua y saneamiento. La falta de suministro de agua, saneamiento e higiene (WASH, por sus siglas en inglés) tiene un costo enorme en la salud y el bienestar y conlleva un alto costo financiero que redunda en una pérdida considerable de la riqueza económica. Para lograr el acceso universal, se necesita un avance acelerado entre los grupos desfavorecidos, así como garantizar la no discriminación en la prestación del servicio *WASH* (Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo de Abastecimiento de Agua, 2013). Los gobiernos de la región del Caribe deberán concentrar sus esfuerzos para lograr que toda la población mundial reciba servicios de agua de calidad y prestar particular atención a las conexiones de agua corriente en los hogares, mejorar la calidad del servicio y a la sostenibilidad en la gestión del agua.

3. Bolivia: Calidad del agua en el altiplano andino

María Eugenia García y Mónica Moraes R.

Bolivia, un país ubicado en el centro de América del Sur, cuenta con una superficie de 1,098,581 km^2 con cabeceras de tres cuencas hidrográficas (Amazonas, Paraná-Paraguay y la cuenca endorreica andina) y una población de 10.89 millones (INE 2016). Es uno de los países más pobres de la región; aunque la pobreza extrema disminuyó de 37.7% en 2007 a 17.3% en 2014, se mantuvo en 36.1% en áreas rurales (OMS, 2017). También tiene una larga tradición minera que data de culturas precolombinas y que ha funcionado sin ningún control ambiental desde la época colonial. En la actualidad, continúa realizándose la producción de drenajes ácidos y la acumulación y transporte de metales tóxicos y restos minerales, lo que plantea riesgos para la salud de las comunidades humanas, la flora y la fauna, y la degradación de los recursos hídricos. En 2015, 90% de la población boliviana contaba con acceso a fuentes de agua mejoradas y 84% de las viviendas contaba con agua corriente: 97% en áreas urbanas y 76% en áreas rurales; aproximadamente 50% de la población tenía acceso a servicios de saneamiento mejorados: cerca de 63% en las zonas urbanas y 43% en las rurales (OMS, 2017).

El Altiplano Boliviano o Altiplano Andino, una extensa y desértica llanura cuya altura media se es-

tima en 3,750 m y que se ubica entre dos cadenas montañosas con cumbres que superan los 6,200 m (Argollo *et al*., 2001) se localiza en el occidente del país. La región se caracteriza por glaciares que se están reduciendo de forma gradual (Soruco, 2008) y la escasez de agua, con consecuencias para la salud y el aspecto socioeconómico directamente relacionado con la agricultura. Debido a la intensa actividad minera y la contaminación natural, así como los problemas que se generan por el uso del agua y la contaminación de las aguas superficiales, los recursos están cada vez más en mayor peligro, lo cual crea un problema importante.

Sistema TDPS y calidad del agua

La cuenca endorreica del Altiplano, también conocida como sistema TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salares) (**Figura 1**), se ubica entre 14°38' a 22°58'LS y 66°14' a 69°40'LW, y abarca 145,176 km^2 (Argollo *et al*., 2001). La provincia de Poopó, en el departamento de Oruro de Bolivia, tiene 16,806 habitantes, de los cuales 8,539 son hombres y 8,267 son mujeres. El área de influencia del lago Poopó se caracteriza por la marginalidad y la pobreza extrema de la población (76%, índice que supera el promedio departamental y nacional), la falta de oportunidades de empleo permanente, el bajo acceso a los servicios básicos y la escasa capacidad institucional para intervenir en las líneas productivas y medioambientales. Las condiciones de vida de la población asentada en la cuenca muestran niveles preocupantes: la esperanza de vida es de 58 años, inferior al promedio nacional (63.3) y la mortalidad infantil promedio es de 89%, superior al promedio del Departamento (82%) y del país (66%).

El lago Poopó recibe metales pesados y agua ácida de depósitos naturales y minas a lo largo de los ríos al norte y noreste, lo que afecta la calidad del agua de forma importante. Se han analizado y monitoreado diferentes parámetros químicos a lo largo de varios años (García *et al*., 2005; Ormachea, 2015), como el pH, la conductividad, los sólidos en suspensión, la temperatura, el potencial redox, la alcalinidad, el sodio, el potasio, el calcio, el magnesio, los cloruros y sulfatos, además de los metales pesados, los nitratos, fosfatos, carbonatos y bicar-

Figura 1. Pescador uru que enfrentó la sequía del lago Poopó en 2015

Cuadro 4. Parámetros químicos del lago Poopó (Bolivia) que afectan la calidad del agua, mediante una comparación entre la baja calidad del agua y sus mejores condiciones

	Baja calidad de agua	Mejores condiciones de calidad del agua
pH	2.2 ≤ pH ≤ 4.0	7.0 ≤ pH ≤ 8.9
8.3 ≤ pH ≤ 9.6	-	0
Metales pesados	Cd: 3.0 mg/l, Pb: 0.53 mg/l, Como: 2.07 mg/l, Fe: 4.8 mg/l, Zn: 7.5 mg/l	Cd: 0.6 mg/l, Pb: 0.24-0.27 mg/l, Como: 0.02-0.22 mg/l, Fe: 0.1-0.2 mg/l, Zn: 0.1 mg/l
Sulfatos, cloruros	$SO_4$2-: 2900-6000 mg/l, Cl-: 11800-12900 mg/l	

Fuente: García *et al.*, 2005.

bonatos; y por último, también se han realizado comparaciones entre las temporadas de lluvia y la estación seca.

El norte y el noreste de la cuenca del Poopó, donde los ríos descargan sus aguas en los lagos Poopó y Uru, son también una fuerte influencia de las actividades mineras de la región y reciben alrededor de 28% de las aguas termales, carbonatadas y bicarbonatadas. Estos ríos tienen concentraciones de metales pesados que exceden cientos e incluso miles de veces el límite máximo, de acuerdo con las regulaciones bolivianas e internacionales; 90% de los estudios de pozos (45) arrojan resultados que exceden el máximo recomendado por la OMS.

Además, sólo cuenta con una pequeña salida con un flujo promedio de 2.5 m^3/s, un valor que corresponde a la temporada de lluvias, y durante la temporada seca, el agua de este lago no cuenta con salida de ningún tipo y se convierte en un sumidero de sólidos disueltos y sedimentos. Los rangos de concentración de los diferentes elementos en comparación con las regulaciones nacionales e internacionales indican que la calidad de sus aguas está totalmente deteriorada, es inservible e inadecuada para consumo humano. Esta evaluación nos permite conocer la grave situación en la que se encuentran los recursos hídricos que se utilizan para el consumo, riego y consumo de animales, y el problema que representa conservar los pocos cuerpos de agua, y especialmente el agua subterránea con que cuentan estas comunidades.

Papel clave de la mujer

El agua proviene de ríos o pozos y es utilizada por 50% del área rural boliviana que carece de servicios de saneamiento o tratamiento de agua. Alrededor de 50% de la población que utiliza el recurso hídrico en la provincia de Poopó son mujeres, con 2,226 mujeres (27%) entre 20 y 39 años, que participan en tareas productivas y domésticas. Ellas se ocupan tanto de la agricultura como de la cría de animales y las tareas domésticas como la preparación de alimentos, la elaboración del pan, la crianza, limpieza y salud de los hijos, el lavado de ropa, la agricultura de subsistencia y las actividades agropecuarias (en colaboración con los hombres), entre otras.

Aunque hay muchas tareas que cumplir en la comunidad y en la familia, son las mujeres quienes a menudo realizan esfuerzos constantes pero menos evidentes, como los siguientes:

- Las mujeres recorren grandes distancias a pie varias veces al día para traer agua a la comunidad, comenzando muy temprano todos los días o cada dos días. El agua potable debe hervirse y enfriarse antes de poder consumirse con la calidad necesaria. En los breves períodos de lluvia, el agua se almacena en cuencos de cerámica para poder contar con agua para sus hogares. Las mujeres también ponen en peligro su salud al hacer contacto directo con fuentes contaminadas o aguas tóxicas. Estos arduos esfuerzos se traducen luego en consecuencias para su salud, como problemas de peso y de espalda.
- Al igual que en otras sociedades, las mujeres se encargan de la seguridad de los alimentos de la familia. También participan en la construcción de zanjas y diques de lodo para el riego de cultivos. Además, desempeñan un importante papel en la siembra y cosecha de los productos agrícolas, junto con sus parejas e hijos.

- Durante la temporada de sequía, las mujeres contribuyen a aliviar la escasez económica elaborando artesanías como sombreros, agarraderas y ropa, para su venta en las ferias locales. Este conocimiento proviene de su historia ancestral y cultural como personas que han aprendido a sobrevivir en situaciones ecológicas adversas y marcadamente estacionales. Conservar este conocimiento se ha convertido en una necesidad.
- El problema de los recursos hídricos se ha convertido en una realidad política, sobre todo desde que se emitió la alerta durante la estación seca de 2015 en la región del lago Poopó. Los movimientos políticos surgieron durante la estación seca y, en particular, la alerta de 2015. Las mujeres formaron parte de asociaciones o comités locales de agua y colaboraron en la organización de reuniones para abordar el problema del agua y tomar acciones al respecto. Sin embargo, los planes gubernamentales son en su mayoría dirigidos por hombres que a menudo callan las voces de las mujeres. Las mujeres líderes, en su mayoría, se encuentran en poblados más grandes, en áreas rurales o en centros urbanos.
- La mayor aportación y contribución para sus familias y la comunidad en sí misma es que las mujeres son las que cuidan celosamente sus pozos y agua potable, así como los pequeños cuerpos de agua que abastecen a su comunidad. Su conocimiento hace posible la clasificación de los tipos y fuentes de agua destinados a diversas aplicaciones, desde el consumo directo hasta el destinado al trabajo agrícola y a la preparación de alimentos.

Por ello, es necesario reconocer el importante papel de las mujeres en la gestión de la calidad del agua, no sólo históricamente –como lo reconocen los espacios dedicados a las actividades domésticas–, sino en toda la gama de acciones de la vida familiar. También es fundamental involucrar a estas comunidades en la capacitación de roles y responsabilidades de género y brindar orientación sobre los sistemas de gobierno que toman decisiones sobre la conservación y preservación del agua.

4. Mujeres y agua: Caso de estudio en Ecuador

Christina Villamar Ayala

Introducción

Aproximadamente 70% de la población real en todo el mundo (cerca de 7,000 millones de habitantes) vive en países en desarrollo (Lutz *et al.*, 2001). En cambio, sólo hay 5 millones de km^3 de agua disponibles y ésta no se encuentra donde se concentra la población (Arnell, 1999). El agua se determina no sólo por su distribución y disponibilidad, sino también por su acceso y calidad.

Ecuador cuenta con 27,000 m^3/año por habitante, lo que facilita el acceso al agua (AQUAstat, 2015). De esta manera, Ecuador goza de una cobertura nacional, rural y urbana de agua potable de 82, 94 y 57%, respectivamente. Por otro lado, la capacidad instalada de infraestructura básica y calidad del agua son también factores importantes para la salud de un país. A nivel de saneamiento básico (instalaciones sanitarias + alcantarillado) la cobertura nacional es de 75%. La cobertura en cuanto a tratamiento que se reporta a nivel municipal es cerca de 62%. Los indicadores de agua, saneamiento e higiene miden el riesgo potencial de la calidad del agua (INEC, 2015). Estos indicadores se evaluaron previamente en una muestra de la población (4,000 hogares), y se encontró que sólo 79% de la población nacional tiene agua libre de *Escherichia coli* y 31% de la población rural reportó algún nivel de contaminación en el agua potable (Pozo *et al.*, 2016). Por consiguiente, a medida que aumenta la cobertura de agua potable y saneamiento, se hace necesario contar con acceso a agua potable de calidad que garantice la salud pública y ofrezca una mejor calidad de vida.

Calidad del agua: normas y riesgos en Ecuador

Es indispensable que el agua potable sea de buena calidad y se encuentre en cantidad suficiente, por ser un recurso vital para la vida. La OMS (2011) ha definido el estándar de agua potable a partir de la aplicación y el monitoreo de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. La calidad microbiológica es el parámetro clave porque afecta la salud de la población de forma inmediata. Entre tanto, la cali-

dad fisicoquímica influirá gradualmente en las condiciones de la salud humana, principalmente a través de microcontaminantes (contaminantes emergentes), que no están regulados (Ebele *et al*., 2017).

La calidad del agua en el Ecuador se basa en los criterios de uso, y se define como agua con calidad para consumo humano o actividades domésticas, tales como: preparación de alimentos, higiene personal y lavado de utensilios de cocina (TULMAS, 2005). El Ecuador protege la calidad del agua a través de dos normas: Anexo 1-TULMAS (2005) y NTE INEN 1108 (2014). La primera regula los límites máximos permisibles que definen la calidad de la fuente de extracción de agua, mientras que la segunda define los criterios de calidad del agua extraída o tratada que se utilizará para beber. En la práctica, sólo se monitorean los coliformes fecales (parámetro microbiológico) debido al alto costo del monitoreo (Kayser *et al*., 2015).

El principal contaminante microbiológico en el agua potable son las aguas residuales municipales y de origen ganadero, ya que tienen mayores cargas microbiológicas (103-108 UFC/100 ml) (Villamar *et al*., 2018). En Ecuador, algunos ríos costeros reportan contaminación microbiológica temporal (estacional y por hora) con *Escherichia coli* (102 - 104 UFC/100 ml) (Levy *et al*., 2009), una situación que podría empeorar debido a las condiciones hidrodinámicas de sus ríos (Rao *et al*., 2015). El agua potable segura en el Ecuador no depende sólo de los recursos disponibles, sino también de la forma en que se supervisa su calidad, así como de la manera en que podría influir en el saneamiento.

El indicador microbiológico más utilizado para la calidad del agua potable es la bacteria patógena *Escherichia coli.* Sin embargo, la variedad biológica potencialmente presente en el agua abarca varios niveles (virus, bacterias, protozoos y nematodos (Cabral, 2017). Esta variedad microbiológica se describe en las guías de la OMS, que mencionan más de 20 microorganismos patógenos potencialmente presentes en el agua potable (OMS, 2016). Varios de estos microorganismos son responsables de enfermedades gastrointestinales (Rosado-García *et al*., 2017). Por otro lado, otros microorganismos (p. ej., influenza) que se han detectado en el agua potable ingresan al agua por inhalación (OMS, 2016). El tratamiento de purificación convencional elimina algunos microorganismos patógenos (*E. coli*), pero varios otros parásitos (virus, protozoos y nematodos) persisten después del tratamiento de purificación (Betancourt y Rose, 2017). Estudios preliminares en Ecuador han detectado la transferencia de parásitos del agua a los humanos, y las poblaciones de todas las regiones (Costa, Andina y Amazonas) han reportado parásitos en las heces (Peplow, 1982). Por lo tanto, el nivel de exposición a la contaminación microbiológica del agua potable en la población ecuatoriana es más alto.

El tratamiento de purificación de agua consta de varias fases. Se han utilizado algunos métodos naturales (radiación solar) y artificiales (radiación ultravioleta, agentes oxidantes y electroquímicos) en la desinfección (Gibbons y Laha, 1999). Sin embargo, la desinfección química con productos clorados con cierto nivel de pureza –NaClO y Ca(ClO)2– es la que más se utiliza en Ecuador (Cirelli y Mortier, 2005). Este método ha demostrado ser el más rentable para eliminar la E. coli (> 99.9%), pero no es eficaz en la eliminación de otros parásitos. (Betancourt y Rose, 2004; OMS, 2006). Por lo tanto, las nuevas tecnologías (p. ej., la microfiltración) parecen mejorar la eliminación de parásitos, pero continúan siendo muy costosas. Así, pues, la calidad del agua potable también depende de poder acceder a tratamientos adecuados.

Agua: calidad y mujeres

Si bien el agua se regula de forma pública en Ecuador, la legislación vigente permite la privatización del agua (Boelens *et al*., 2015). Este modelo dual podría influir en la forma en que se maneja el agua y quién tiene derecho a usarla. El derecho de acceso a los recursos en Ecuador se detalla en la Constitución de 2008, que destaca que "El derecho humano al agua es fundamental e inalienable. El agua constituye un patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida" (Artículo 12-AC, 2008). Asimismo, menciona la "igualdad de derechos y oportunidades de mujeres y hombres en el acceso a la propiedad" (Artículo 324-AC, 2008). En la práctica, estos derechos aún no se ejercen a pesar de que las mujeres son los principales pilares de la familia y son responsables de la seguridad de los alimentos locales (Radcliffe, 2014). Una de las principales razones por la que estos derechos no se ejercen tiene que ver con la brecha educativa entre hombres y

mujeres, ya que el nivel de analfabetismo en Ecuador es de aproximadamente 9.5 y 13.5%, respectivamente (INEC, 2015). Este factor también influye en la independencia económica de las mujeres, donde 94% de la población ecuatoriana femenina es económicamente activa, pero sólo 33% cuenta con un empleo formal. En las zonas rurales y en todos los grupos indígenas del Ecuador, la brecha es aún mayor porque las mujeres indígenas ganan alrededor de 17% menos que los hombres (Radcliffe, 2014; INEC, 2015). Las diferencias salariales no sólo ponen de manifiesto las brechas en la educación con respecto a los hombres, sino también el tiempo que las mujeres deben combinar entre el trabajo y el trabajo en el hogar. Todos estos factores reflejan no sólo las diferencias de género, sino también los obstáculos que las mujeres deben superar para poder asumir roles importantes en la gestión y administración de los recursos hídricos.

El papel ancestral que las mujeres indígenas ha tenido en el acceso a los recursos hídricos se basa en la agricultura, ya que más de 75% de las mujeres en las áreas rurales participan en esta actividad, ya que es compatible con las tareas domésticas (INEC, 2015). En general, la agricultura que practican las mujeres son cultivos de subsistencia y rotación, con diversidad biológica, de plantas medicinales, y combinadas con el cuidado de los animales, lo que favorece el pensamiento crítico e impulsa a las mujeres activistas (Radcliffe, 2014). Por lo tanto, la calidad del agua para la agricultura y el agua potable son aspectos muy importantes que preocupan a las mujeres rurales ecuatorianas. Este hecho se ha visto reflejado en las protestas contra la Ley del Agua llevadas a cabo por las comunidades indígenas ecuatorianas, donde las mujeres han sido las principales protagonistas. Las mujeres también han participado activamente en protestas ambientales contra la contaminación del agua ocasionada por actividades industriales de interés nacional (por ejemplo, la minería) (Kayser *et al*., 2015). A pesar de esto, en el entorno rural, las mujeres no cuentan con un acceso fácil a los derechos de uso del agua, ya que los derechos siempre se han otorgado en un nivel familiar no individual (Radcliffe, 2014). Estos hechos son difíciles de entender, sobre todo cuando se considera que la relación de las mujeres con la seguridad de los alimentos y reproductiva a nivel familiar es fundamental.

Por lo tanto, la calidad del agua es un tema de especial interés en el pensamiento de las mujeres, en particular, la contaminación microbiológica del agua. Ciertamente, la calidad microbiológica del agua afecta directamente la salud de la mujer y de su núcleo familiar. Algunos estudios informan que la incidencia de parásitos (*Ascaris lumbricoides*) en las mujeres es mayor que en los hombres, muchas veces como resultado del menor ingreso de las mujeres y, por ende, un menor acceso a agua potable (González *et al*., 2001). Existe una relación directa entre la pobreza (mujeres 2% más que hombres) y el acceso a los servicios básicos (agua potable y saneamiento) en Ecuador (SEMPLADES, 2014). Esta situación podría también afectar la salud reproductiva y la planificación familiar. Los estudios sobre mujeres indígenas en Bolivia han descubierto una relación entre la presencia de parásitos (*A. lumbricoides*) y una mayor tasa reproductiva (9 hijos por mujer). La disminución del sistema inmunológico también explicaría la baja tasa de abortos en este grupo indígena (Blackwell *et al*., 2015). Las infecciones parasitarias en mujeres embarazadas podrían generar sensibilidad o resistencia en el feto e influir en la tasa de natalidad y la mortalidad infantil. La mortandad entre mujeres embarazadas y las enfermedades en niños de mujeres indígenas o pobres (afrodescendientes o mestizas) se concentra en las áreas rurales ecuatorianas. De hecho, 70% de las muertes maternas se ha registrado en zonas rurales de Ecuador (INEC, 2015). Además, los estudios indican que una de las principales causas de muerte en las mujeres indígenas ecuatorianas (embarazadas y no embarazadas) son las enfermedades diarreicas causadas por parásitos (Hughes, 2004). Se sabe que los parásitos son una de las causas de muerte materna en la totalidad de la población femenina ecuatoriana (2.5%) y que el grupo de jóvenes de 15 años es el más vulnerable. Las infecciones son una de las principales causas de muerte en recién nacidos en áreas rurales de Ecuador (Finerman, 1987; INEC, 2015). Por otro lado, la mayor tasa de natalidad (4 a 6 niños por mujer) y de mortalidad infantil (indígenas: 60%, afrodescendientes: 40%) en áreas rurales ecuatorianas donde se concentran estos grupos podría tener que ver con la vulnerabilidad de este segmento de la población (INEC, 2015).

La relación que las mujeres tienen con el agua y su calidad es directa, debido a su papel fundamen-

tal en la seguridad de los alimentos y la salud de ellas mismas y la de sus núcleos familiares. A medida que se reduzcan las brechas educativas entre hombres y mujeres, habrá una mayor posibilidad de incorporar a más mujeres en las decisiones relacionadas con la gestión del agua. Lo anterior sin duda abre la posibilidad de incorporar las ideas sobre gestión del agua que estas mujeres tienen con base en la salud familiar y de acuerdo con el medio ambiente.

5. Género y gestión de residuos

Banu Örmeci

El agua y un ambiente limpios son primordiales para la protección de la salud pública. Los esfuerzos realizados en el pasado tanto en los países desarrollados como en desarrollo se han centrado en gran medida en poder ofrecer agua potable limpia, y no se le ha dado igual importancia al tratamiento y gestión adecuados de los residuos e, incluso, se han ignorado por completo en algunos países debido a la falta de financiamiento. Si los residuos no se recolectan y manejan de manera adecuada, dan lugar a la contaminación directa de los suministros de agua y anula los esfuerzos e inversiones realizados con objeto de proporcionar agua potable limpia a las comunidades. En los países en desarrollo y regiones con escasez de agua, el manejo inadecuado de las aguas residuales y los desechos sólidos afecta mayormente a mujeres y niñas debido a muchos factores culturales y sociales que afectan negativamente su salud, educación, seguridad, empoderamiento y bienestar general.

Tanto los hombres como las mujeres participan en la gestión de los residuos sólidos, pero existe una profunda segregación en cuanto a la calidad de los empleos, y una enorme desigualdad en los salarios. En los países en desarrollo, las mujeres y los niños constituyen la principal fuerza de trabajo para recolectar, clasificar, reciclar y vender materiales valiosos recuperados de la basura y otros desechos sólidos. Por ejemplo, las mujeres representan aproximadamente 80% de los recolectores de desechos en la India y 56% en Brasil (Dias & Fernández, 2013). Las extenuantes condiciones de trabajo, las responsabilidades domésticas, las relaciones jerárquicas de género y la marginación de los trabajadores de residuos son sólo algunos de los principales desafíos que enfrentan a diario. Las comunidades marginan aún más a las trabajadoras que recolectan desperdicios y que tienen identidades intersecadas, como la raza, la clase, la sexualidad y la edad (Purdie-Vaughn y Eibach, 2008). Las inversiones realizadas en los programas de gestión de residuos sólidos generan mejores trabajos que también son más seguros para quienes manejan los residuos sólidos, pero estos trabajos suelen ser ocupados por hombres y ponen a las mujeres en desventaja, con menores ingresos y oportunidades laborales.

Es posible observar las diferencias de género y las desigualdades en los diferentes niveles de la gestión de residuos sólidos, empezando por las responsabilidades familiares, las prioridades y los valores asignados a la eliminación de desechos, el proceso de toma de decisiones en el trabajo y en la comunidad, y las oportunidades de empleo. Se observó una bien establecida división del trabajo, según el género, en el sistema de gestión de residuos de la ciudad de Ho Chi Minh, Vietnam, donde las recolectoras que iban de puerta en puerta eran todas mujeres, y los hombres eran quienes compraban los bienes recolectados, los reciclaban y comercializaban (Mehra *et al*., 1996). Se reportó que en Puerto Príncipe, Haití, las mujeres que trabajaban en la industria de los residuos sólidos recibían salarios más bajos y su índice de lesiones y rotación laboral en comparación con sus homólogos masculinos era mucho más alto (Noel, 2010).

Es de suma importancia contar con un enfoque ascendente en el desarrollo de políticas de recolección y gestión de desechos encaminado a proteger los derechos de las mujeres de bajos ingresos (Bisht, 2005). También es necesaria una perspectiva de género para examinar los problemas de gestión de desechos que involucran a las mujeres, y desarrollar estrategias que atiendan estos problemas (Dias & Fernández, 2013). Los programas económicos y empresariales que emplean microfinanciamiento y otros enfoques creativos para la recolección y gestión de residuos podrían contribuir a mejorar las condiciones de empleo y las oportunidades para las mujeres en los países en desarrollo (Madsen, 2006) con sectores más establecidos. Sin embargo, en los sectores menos desarrollados, las mujeres están

más expuestas al acoso, la violencia y los riesgos de salud y seguridad, y la protección básica de la seguridad física y la dignidad humana tendría un efecto más transformador en estas comunidades, en comparación con los programas económicos y empresariales (Oganda *et al*., 2017).

Es necesario abordar la desigualdad de género en el manejo de los residuos sólidos y esto puede lograrse a través de la capacitación y educación de las trabajadoras para proporcionarles herramientas con las que puedan luchar por la igualdad en el hogar y el trabajo, aumentar sus posiciones de liderazgo en las organizaciones relevantes y contribuir a su empoderamiento económico (WIEGO *et al*., 2015a). Con la participación de las recolectoras de desechos de América Latina, el proyecto Género y Residuos inició las deliberaciones y ofreció una solución a estas importantes necesidades al proporcionar un conjunto de prácticas herramientas para que las mujeres aumenten su poder político y económico en sus lugares de trabajo y en sus comunidades. El conjunto de herramientas consta de tres partes y ya se encuentra disponible en línea para los trabajadores de residuos, profesionales, investigadores y responsables de la formulación de políticas (WIEGO *et al*., 2015a, b, c, d).

Estar conscientes de los problemas relacionados con las desigualdades de género en el sector de los residuos es el primer paso para eliminar las barreras de género y ofrecer un entorno laboral equitativo tanto para hombres como para mujeres. Esto ayudaría a mejorar las condiciones de trabajo y la seguridad de todos los trabajadores, y aumentaría la eficiencia de los programas de recolección, separación y gestión de desechos, lo que se traduciría en ahorros y en la protección de la salud pública y el medio ambiente.

Conclusiones

Estos estudios de caso demuestran que la calidad del agua es de suma importancia para la vida de las mujeres, sobre todo, en los países en desarrollo. La calidad del agua afecta a las mujeres mucho más que a los hombres, en especial, si deben acarrear agua en condiciones que muchas veces representan un peligro. Llevar cargas pesadas también tiene consecuencias en la salud. Al margen de que ambos sexos están expuestos a contraer enfermedades transmitidas por el agua e infecciones por agua contaminada y parásitos, las mujeres padecen más este problema, debido al embarazo, el parto y la lactancia. También son las cuidadoras principales de quienes ya están enfermos e infectados y, por tanto, entran en contacto con la enfermedad con más frecuencia. Los problemas relacionados con la calidad del agua afectan seriamente a las mujeres y niños pequeños. Esto también repercute en la economía de la familia, ya que las mujeres que no están sanas no son buenas proveedoras o productoras. El tiempo que las mujeres dedican a encontrar agua potable y hervirla para asegurar su calidad y hacerla utilizable, así como todas las demás labores que las mujeres desempeñan para la familia, impacta directamente el tiempo del que disponen las mujeres y las jóvenes para dedicar a su educación. El menor grado educativo de las mujeres, a su vez, refuerza la inequidad de género.

Objetivo 6.2 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: "Lograr el acceso al saneamiento y la higiene y poner fin a la práctica de la defecación al aire libre", destaca la necesidad de prestar especial atención a la necesidad de que las mujeres y los niños cuenten con agua de buena calidad y con procesos de tratamiento de residuos.

Otro tema importante relacionado con la calidad del agua y el género al que se la dado menor importancia es la gestión y el control de las aguas residuales y su contenido. La gestión adecuada de los residuos ha sido ignorada en gran medida en algunas áreas y países menos desarrollados. En estos países, niñas y mujeres jóvenes trabajan como recicladoras y recolectoras de residuos, se les paga notablemente menos que a los hombres y son quienes principalmente hacen el trabajo considerado de menor importancia, mientras que los hombres son los administradores y quienes dictan las políticas. En muchos países se requiere contar con puntos de vista y políticas de género que protejan y fortalezcan los derechos de las trabajadoras.

Una de las recomendaciones clave que surge de éstos y otros estudios es que debe incluirse a más mujeres en las instituciones de gestión y toma de decisiones, en particular, en los países en desarrollo. Los gobiernos deben asumir una mayor responsabilidad y proporcionar los recursos necesarios para mantener la buena calidad del agua destinada a la población, e incluir a un mayor número de mujeres en puestos administrativos y de supervisión

Foto 1. Malas condiciones sanitarias en la región de Guna Yala, República de Panamá

Sin acceso a agua potable, las aguas residuales de las letrinas van directamente al agua que se encuentra alrededor de la comunidad. Los niños son la población más propensa a desarrollar enfermedades intestinales. © Dayra Alvarez, Panamá.

para que se aseguren de que esto suceda. Con respecto al agua y su calidad , e incluso a la gestión de residuos, ciertamente es irónico que las mujeres, que son las principales usuarias y, con frecuencia, quienes procuran a sus familias con este importante elemento vital para la vida y la salud, tengan poco o ningún poder gubernamental o legislativo sobre este recurso, su uso o administración.

Anexo A: Parásitos comunes

Dayra Álvarez MT, MSc[1]

La enfermedad diarreica es una de las principales causas de mortalidad y morbilidad en niños; mata a 2,195 niños todos los días en todo el mundo, lo que la convierte en la segunda causa de muerte en niños menores de 5 años (Diarrea: Enfermedad común, asesino global, 2018). Las enfermedades diarreicas pueden ser causadas por virus (rotavirus, enterovirus, etc.), bacterias (*Escherichia coli, Shigella*, etc.) y entre los parásitos transmitidos por el agua se incluyen los cuatro protozoos más frecuentes, *Blastocystis* sp. *Giardia lamblia, Entamoeba histolytica, Cryptosporidium* species (Wawrzyniak *et al*., 2018; Azam, Peerzada y Ahmad, 2015). Estos parásitos pueden transmitirse a través de la ingestión de agua contaminada o alimentos en etapa infecciosa, que pueden ser los quistes de *Blastocystis, G. lamblia* y *E. histolytica*, y los ooquistes de *Cryptosporidium* spp. La infección ocurre como consecuencia de la mala calidad del agua para consumo o de las malas condiciones de higiene y saneamiento. El *Blastocystis* es un parásito intestinal con una amplia diversidad genética y una prevalencia que a menudo supera 5% en la población en general de los países industrializados y que puede ser de hasta 30-60% en los países en desarrollo. La calidad del agua potable, el saneamiento y los malos hábitos de higiene personal son los principales riesgos de contaminación en los niños (Wawrzyniak *et al*., 2018).

1. Departamento de Microbiología Humana, Facultad de Medicina, Universidad de Panamá, Panamá.

La prevalencia del *Giardia lamblia* en seres humanos varía de 2 a 3% en los países industrializados, y puede ser de hasta 30% en los países en vías de desarrollo. La giardiasis se asocia directamente con la pobreza y el agua potable de mala calidad (Cernikova, Fasoid y Hehlid, 2018). Algunos aspectos biológicos de los patógenos *G. lamblia* y *Cryptosporidium* spp. consisten en que son sumamente resistentes a los desinfectantes químicos y que ocasionan otros efectos negativos en el medio ambiente (Marshall *et al*., 1997). El *Entamoeba histolytica* tiene una elevada prevalencia en los primeros 2 años de vida en niños en el mundo en desarrollo, donde la diarrea continúa siendo la tercera causa principal de muerte (Shirley *et al*., 2018). Es muy frecuente en comunidades en donde gran parte del suministro de agua para beber no es tratada y la práctica de reutilización de las aguas residuales humanas propicia la transmisión del parásito. Se cree que el *Cryptosporidium* spp. es uno de los causantes más comunes de diarrea en individuos inmunocompetentes y personas con deficiencias inmunitarias. Las *C. hominis* y *C. parvum* son los principales agentes causantes de la criptosporidiosis humana, pero su prevalencia varía en diferentes regiones del mundo. Se han reportado ooquistes de *Cryptosporidium* en aguas superficiales y subterráneas, así como en agua potable tratada (Cernikova, Fasoid y Hehlid, 2018). La transmisión por agua es una de las fuentes más comunes de infección por criptosporidiosis. Uno de los peores brotes de este parásito fue en 1993, e involucró principalmente a pacientes inmunocomprometidos y dio lugar a **4,03,000** casos afectados, 5000 casos confirmados y 100 muertes (Fayer R, 2007).

Las mujeres son madres y quienes se ocupan del hogar. Son quienes cuidan a sus familias durante las enfermedades diarreicas y otras. Desempeñan un papel importante en la recolección, almacenamiento y gestión del agua para el consumo de sus familias. Es vital que aprendan a prevenir estas enfermedades parasitarias. Algunos autores mencionaron tres comportamientos relacionados con la higiene que protegen a los bebés contra la diarrea: lavarse las manos antes de preparar los alimentos y después de usar el baño, desechar de manera segura las heces de los bebés y almacenar el agua en casa de forma segura (Clasen y Cairncross, 2004). También deben aprender que el agua debe hervirse a temperaturas superiores a 70°C para matar a los parásitos (WHO/FWC/WSSH/15.02, n.d.).

Anexo B: Referencias bibliográficas

Sección 1

20minutos.es - Últimas Noticias (2018). *El agua es salud: conoce su importancia, sus tipos y sus beneficios.* [online] Disponible en: https://www.20minutos.es/noticia/1817766/0/agua/mineral/tipos-beneficios/#xtor=AD-15&xts=467263

Who.int. (2018). OMS | *Servicios de aguas para la salud.* [online] Disponible en: http://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/es/ [Acceso 10 Sep. 2018].

www.diariolibre.com (2018). *Situación del agua en RD ya alcanza la categoría de crítica.* [online] Disponible en: www.diariolibre.com/noticias/situacin-del-agua-en-rd-ya-alcanza-la-categora-de-crtica-IJDL239001 [Acceso 11 Sep. 2018].

Metro República Dominicana (2018). *El agua en el país corre riesgo por contaminación.* [online] Disponible en: https://www.metrord.do/do/destacado/2017/03/21/agua-pais-corre-riesgo-contaminacion.html [Acceso 11 Sep. 2018].

Hoy Digital (2018). *El problema del agua.* [online] Disponible en: http://hoy.com.do/el-problema-del-agua/ [Acceso 11 Sep. 2018].

Bvsde.paho.org. (2018). [online] Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/acrobat/aguasa.pdf [Acceso 10 Sep. 2018].

Lenntech.es (2018). *Enfermedades transmitidas por el agua, lenntech.* [online] Disponible en: https://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/enfermedades-transmitidas-por-el-agua.htm#ixzz5RH2yj4mr [Acceso 08 Sep. 2018].

Organización Mundial de la Salud (2018). *Enfermedades y riesgos asociados a las deficiencias en los servicios de agua y saneamiento.* [online] Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/es/ [Acceso 09 Sep. 2018].

www.diariolibre.com (2018). *Salud reporta baja incidencia de muertes por dengue, malaria y cólera en 2017.* [online] Disponible en: https://www.diariolibre.com/noticias/salud/salud-reporta-baja-incidencia-de-muertes-por-dengue-malaria-y-colera-en-2017-JH8922964 [Acceso 11 Sep. 2018].

20minutos.es - Últimas Noticias (2018). *El agua es salud: conoce su importancia, sus tipos y sus beneficios.* [online] Disponible en: https://www.20minutos.es/noticia/1817766/0/agua/mineral/tipos-beneficios/#xtor=AD-15&xts=467263 [Acceso 09 Sep. 2018].

Prosalus.es (2018). *Agua, género y determinantes de la salud* | Prosalus. [online] Disponible en: https://prosalus.es/es/noticias/agua-genero-y-determinantes-de-la-salud [Acceso 10 Sep. 2018].

G., S. (2018). Opinión | El agua: ¿cosa de mujeres? [online] *EL PAÍS*. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2016/03/07/planeta_futuro/1457349350_436641.html [Acceso 11 Sep. 2018].

Fondo Centroamericano de Mujeres (2018). *Las mujeres y su lucha por el agua.* [online] Disponible en: https://www.fcmujeres.org/las-mujeres-y-su-lucha-por-el-agua/ [Acceso 16 Sep. 2018].

Sección 2

Bartram, J. and Hunter, P (2015). In Bradely classification of disease transmission routes for water-related hazards. Chapter 3 *Routledge Handbook of Water and Health*, London, UK 20-37. Eds Jamie Bartram, Rachel Baum, Peter A. Coclanis, David M. Gute, David Kay,Stéphanie McFadyen, Katherine Pond, William Robertson, Michael J. Rouse (Acceso 11/09/2018).

Cap-Net/GWA (2006). *Why Gender Matters: a tutorial for water managers.* Multimedia CD and booklet. CAP-NET International network for Capacity Building in Integrated Water Resources Management, Delft. Cap-Net and Gender and Water Alliance (Cap-Net/GWA).

Benny-Ollivierra, C. and Badrie, N. (2007). Hygienic practices by vendors of the street food "doubles" and public perception of vending practices in Trinidad, West Indies. *Journal of Food Safety,* 27 (2007) 66–81.

Fletcher, J. 2018. *Regional Process of the Americas World Water Forum 2018.* Technical, Inter-American Development Bank. Acceso May 12, 2018. World Water Forum – March 18 to 23, 2018.

Franklyn, S. and Badrie, N. (2015). Vendor hygienic practices and consumer perception of food safety during the Carnival festival on the island of Tobago, West Indies. *International Journal of Consumer Studies*. 39 (2015) 145–154

Global Water Partnership, Caribbean (2017).*Toolbox – Rainwater harvesting in the Caribbean.* Caribbean Environmental Health Institute for the Global Water Partnership – Caribbean (GWP-C). Acceso 12/09/2018. http://carpha.org/saintlucia/Rain/Rainwater%20Harvesting%20Toolbox/index2.htm#

Khasdurian. L. (2013). Making water safe in Haiti filters and dispensers for the Haitian People.55-58. *ReVista. Harvard Review of Latin America.* 730 Cambridge Street Cambridge, MA 02138. Winter 2013Volume Xii no. 2 http://revista.drclas.harvard.edu/files/revista/files/water_0.pdf?m=1442956331

Kulinkina, A.V., Shinee, E., Herrador,B.R.G. Karin Nygård, K. and Oliver Schmoll, O. (2016). *The Situation of Water-Related Infectious Diseases in The PAN-European Region.* WHO. Acceso 11/09/2018/ http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/situation-of-water-related-infectious-diseases-in-the-pan-european-region-the-2016

Lakhan, C., Badrie, N., Ramsubhag, A., Sundararaneedi, K. and Indar, L. (2013). Burden and impact of acute gastroenteritis and foodborne pathogens in Trinidad and Tobago. *Journal of Health Population and Research.* Dec; 31(4 Suppl 1): S30–S42.

Ryan, S. (2013). *No time to quit. Engaging youth at risk. Executive report of the committee on young males and crime in Trinidad and Tobago.* School of Education, Faculty of Humanities and Education, The University of the West Indies. St. Augustine, Trinidad & Tobago, W.I.

Satcher, D. (2000). *Food Safety: A Growing Global Health Problem.* JAMA.283(14):1817. Doi:10.1001/jama.283.14.1817. https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/192587 (Acceso 11/09/2018).

Mc Clean, E. (2018). *Rural and urban's resident's knowledge and perceptions of potable water in Trinidad.* Department of Food Production, M.Sc project Agri-Food Safety and Quality Assurance. Faculty of Food and Agriculture St Augustine Campus, Trinidad and Tobago.

Meera, V, and Ahammed, M. (2006). Water quality of roof top rainwater harvesting systems: a review. *Journal of Water Supply Research and Technology* – AQUA 55 (4): 257-268.

Montoute, M. C., and Cashman., A. (2015). *A knowledge, attitudes and practices study on water, sanitation and hygiene in Anse La Raye Village, Saint Lucia.* Technical, Faculty of Science and Technology, The University of the West Indies, Cave Hill Campus, Barbados, Anse La Raye: Centre for Resource Management and Environmental Studies (CERMES). Acceso 11/09/2018 https://www.cavehill.uwi.edu/cermes/getdoc/2ed8b81c-d485-4624-8efa-7a857d1ec535/montoute_cashman_2015_kap_water_sanitation_hygeine.aspx.

Morgan, K. (2017). Incidences of food-borne ailments in the Caribbean Region. *On the rise CARICOM Today,* 24th March, 2017. Acceso 12/09/2018 https://today.caricom.org/2017/03/25/incidences-of-foodborne-ailments-on-the-rise-in-the-caribbean-region/

Neff, B. P. (2013). *Traps and transformations of Grenadian water management,* Ph.D. Thesis, Department of Geography and Environmental Management, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, http://hdl.handle.net/10012/8018.

Pacific Disaster Center (2016). *Waterborne Disease Vulnerability Assessment, Caribbean Region.* 2015/2016. PDC – HLTH-WBDV001. Acceso 15/09/2018. https://reliefweb.int/map/haiti/waterborne-disease-vulnerability-assessment-caribbean-region-1052016

Roslev, P. and Bukh, A.S. (2011). State of the art molecular markers for fecal pollution source tracking in water. *Applied Microbiology and Biotechnology.* (89 (5): 1341-1355.

Sharmila, M.S., Barua, P. and Joseph, MSM (2017). A correlational study to assess the knowledge and practice regarding water- borne Diseases and Its prevention among mothers with a view to conduct a health education programme at selected PHC of Gurgaon. *International Journal of Healthcare Science.* 5 (1): 498-503.

Sorenson, S. B., Morssink, C., and Abril Campos, P. (2011). *Safe access to safe water in low income countries: Water fetching in current times.* Acceso 11/09/2018/ from http://repository.upenn.edu/spp_papers/166. https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1192&context=spp_papers

St. Lucia News Online (2015). Foodborne illnesses on the increase in the Caribbean. May, 15, 2015. Acceso 15/09/2018. www.stlucianewsonline.com/food-safety-more-than-just-a-health-threat/

UNDP, (2001). Trinidad and Tobago National Human Development Report, 2000: Youth at Risk in Trinidad and Tobago. Media and Editorial Projects Ltd., Port of Spain

UNDP (2006). Resource guide. Mainstreaming gender in water management. Version 2.1 November 2006. Acceso 15/09/2018. www.undp.org/content/dam/aplaws/publication/en/publications/environment-energy/www-ee-library/water-governance/resource-guide-mainstreaming-gender-in-water-management/IWRM-GenderResourceGuide-English-200610.pdf

UNICEF (2005). *Water for Life project. Making it happen.* World Health Organization and UNICEF. World Health Organization can be obtained from WHO Press, World Health Organization,20 Avenue Appia,1211 Geneva 27, Switzerland. http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2005/en/ (Acceso 11/09/2018).

UNICEF (2006). *Progress for Children: A Report Card on Water and Sanitation.* Number 5, September 2006. United Nations Children's Fund. (UNICEF). New York.

UNICEF (2012). *Pneumonia and diarrhoea; Tackling the deadliest diseases for the world' poorest children.* Statistics and Monitoring Section – Division of Policy and Strategy UNICEF, June 2012. Three United Nations Plaza, New York. Acceso 15/09/2018/ www.unicef.org/eapro/Pneumonia_and_Diarrhoea_Report_2012.pdf.

UNICEF (2018). *Diarrhoeal disease.* Acceso 15/09/2018. https://data.unicef.org/topic/child-health/diarrhoeal-disease/

UNESCO (2014). *UNESCO Priority Gender Equality Action Plan 2014-2021.* 37C/4-C/5-Compl.1. United Nations Scientific and Cultural Organisation, Paris. Acceso 15/09/2018. http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002272/227222e.pdf

UN Water and Gender (2018) United Nations. http://www.unwater.org/water-facts/gender. Acceso 12/09/2018

Valster, R.M., Wullings, B.A., van den Berg, R., van der der Kooij, D. (2011). Water Supplies in the Caribbean. *Applied and Environmental Microbiology.* 77 (20): 7321-7328.

WHO (2018). *Waterborne disease related to unsafe water and sanitation.* World Health Organisation. Acceso 11/09/2018. http://www.who.int/sustainable-development/housing/health-risks/waterborne-disease/en/

WHO /UNICEF (2008). *Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation.* United Nations Children's Fund and World Health Organization Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation, 58 pp. UNICEF, New York and WHO, Geneva, 2008. Acceso 15/09/2018. http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2008/en/.

WHO/UNICEF Joint Monitoring (2013). *Progress on drinking water and sanitation: 2013 Update.* New York, WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. (World Health Organization/United Nations Children's Fund). Acceso 15/09/2018. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2013/jmp_report/en/

WHO/UNICEF Joint Monitoring Program (2017). *WHO/UNICEF Joint Monitoring Program for Water Supply, Sanitation and Hygiene (JMP) – 2017* Update and SDG Baselines, Acceso 15/09/2018. http://www.unwater.org/publications/whounicef-joint-monitoring-program-water-supply-sanitation-hygiene-jmp-2017-update-sdg-baselines/

Wolf, J., Pruss-Ustun, A., Cumming, O., Bartram, J., Bonjour, S., Cairncross, S., T Clasen, T., Colford Jr. J.M., Curtis, V., De France, J.,Fewtrell, L., Freeman, M.C., Gordon, B. , Hunter, P.R., Jeandron, A., Johnston, R.B., Mausezahl, D., Colin Mathers, C., Neira, M. and Higgins, J.P.T. (2014). Systematic Review-Assessing the impact of drinking water and sanitation on diarrhoeal disease in low- and middle-income settings: systematic review and meta-regression. *Tropical Medicine and International Health* doi:10.1111/tmi.12331. 19 (8): 928-942. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/tmi.12331.

Sección 3

Argollo, J. & Philipppe M. (2001). Lake Quaternary climate history of the Bolivian Altiplano. *Quaternary International* 72: 37-51.

García, M.E., Bundschuh J., Persson K., Bengtsson L., Berndtsson R., Ramos O. & Quintanilla J. (2005). Heavy metals in aquatic plants and their relationship to concentrations in surface water, groundwater and sediments – A case study of Poopó. *Revista Boliviana de Química* 22(1): 11-18.

Ormachea Muñoz, R. (2015). *Hydrogeochemistry of naturally occurring arsenic and other trace elements in the Central Bolivian Altiplano. Sources, mobility and drinking water Quality.* PhD Thesis, TRITA LWR PHD: 03, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm. 39 pp.

INE (Instituto Nacional de Estadística) (2013). *Resultados censo de población y vivienda 2012 Bolivia.* La Paz. http://censosbolivia.ine.gob.bo/censofichacomunidad

INE (Instituto Nacional de Estadística) (2016). *Atlas estadístico de municipios.* La Paz.

Soruco, A. (2008). *Étude du retrait des glaciers depuis cinquante ans dans les bassins hydrologiques alimentant en eau la ville de La Paz – Bolivie (16°S).* Tesis doctoral, Université Joseph Fourier, Grenoble. 235 pp.

WHO (2017). *Country report: Bolivia.* www.paho.org/salud-en-las-americas-2017/?page_id=95

Sección 4

Arnell, N.W. (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9, S31-S49.

Asamblea Constituyente (AC) (2008). *Constitución de la República del Ecuador.* 218 pp.

Betancourt, W.Q., Rose, J.B. (2004). Drinking water treatment processes for removal of Cryptosporidium and Giardia. *Veterinary parasitology,* 126(1-2), 219-234.

Blackwell, A.D., Tamayo, M.A., Beheim, B., Trumble, B.C., Stieglitz, J., Hooper, P.L., Gurven, M. (2015). Helminth infection, fecundity, and age of first pregnancy in women. *Science*, 350(6263), 970-972.

Boelens, R., Hoogesteger, J., Baud, M. (2015). Water reform governmentality in Ecuador: Neoliberalism, centralization, and the restraining of polycentric authority and community rule-making. *Geoforum*, 64, 281-291.

Cabral, J.P. (2010). Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 7(10), 3657-3703.

Cirelli, A.Y.P., du Mortier, C. (2005). Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua. *Solar Safe Water*, 11-26.

Ebele, A.J., Abdallah, M.A.E., Harrad, S. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants,* 3(1), 1-16.

FAO's Information System on Water and Agriculture (AQUASTAT) (2015). *Water Agricultural and Other Water Uses Database.* Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es (Acceso Sept. 2018).

Finerman, R. (1987). Inside out: women's world view and family health in an Ecuadorian Indian Community. *Social Science & Medicine*, 25(10), 1157-1162.

Gibbons, J., Laha, S. (1999). Water purification systems: a comparative analysis based on the occurrence of disinfection by-products. *Environmental Pollution,* 106(3), 425-428.

González, A. H., Regalado, V. C., Van den Ende, J. (2001). Non-invasive management of Ascaris lumbricoides biliary tract migration: a prospective study in 69 patients from Ecuador. *Tropical Medicine & International Health,* 6(2), 146-150.

Gopal, K., Tripathy, S.S., Bersillon, J.L., Dubey, S.P. (2007). Chlorination byproducts, their toxicodynamics and removal from drinking water. *Journal of hazardous materials,* 140(1-2), 1-6.

Helmi, K., Skraber, S., Gantzer, C., Willame, R., Hoffmann, L., Cauchie, H.M. (2008). Interactions of *Cryptosporidium parvum, Giardia lamblia,* vaccinal poliovirus type 1, and bacteriophages ΦX174 and MS2 with a drinking water biofilm and a wastewater biofilm. *Applied and Environmental Microbiology,* 74(7), 2079-2088.

Hughes, J. (2004). Gender, equity, and indigenous women's health in the Americas. *In Gender, equity, and indigenous women's health in the Americas.*

Instituto de Normalización Ecuatoriano (INEN) (2002). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: 2014 Agua Potable: Requisitos.* INEN, 10pp.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) (2015). *Base de datos nacional de acceso a agua y saneamiento.* Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/ (Acceso Sept., 2018).

Kayser, G. L., Amjad, U., Dalcanale, F., Bartram, J., Bentley, M. E. (2015). Drinking water quality governance: a comparative case study of Brazil, Ecuador, and Malawi. *Environmental Science & Policy,* 48, 186-195.

Levy, K., Hubbard, A. E., Nelson, K. L., Eisenberg, J. N. (2009). Drivers of water quality variability in northern coastal Ecuador. *Environmental science & technology,* 43(6), 1788-1797.

Loke, Y.W. (1982). Transmission of parasites across the placenta. *In Advances in parasitology* (Vol. 21, pp. 155-228). Academic Press.

Lutz, W.; Sanderson, W.; Scherbov, S. (2001). The end of world population growth. *Nature* 2001, 412, 543–545.

World Heatlth Organization (WHO) (2011). *Guidelines for drinking-water quality.* WHO, 564pp.

Pozo, M., Serrano, J. C., Castillo, R., Guerrero, P., Oviedo, A. M., Loughnan, L., Farfán, G. (2016). JMP (WHO/UNICEF) *Nota metodológica de los indicadores ODS de Agua, saneamiento e Higiene.* INEC, 68pp.

Rao, G., Eisenberg, J. N., Kleinbaum, D. G., Cevallos, W., Trueba, G., Levy, K. (2015). Spatial variability of Escherichia coli in rivers of northern coastal Ecuador. *Water*, 7(2), 818-832.

Rosado-García, F. M., Guerrero-Flórez, M., Karanis, G., Hinojosa, M. D. C., Karanis, P. (2017). Water-borne protozoa parasites: the Latin American perspective. *International Journal of Hygiene and Environmental Health,* 220(5), 783-798.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SEMPLADES) (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador.* 120 pp.

Texto Unificado de Legislación Medio Ambiental (TULMAS) (2005). Libro VI Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Presidencia de la República del Ecuador. 54 pp.

Villamar, C. A., Vera-Puerto, I., Rivera, D., De la Hoz, F. (2018). Reuse and recycling of livestock and municipal wastewater in Chilean agriculture: a preliminary assessment. *Water*, 10(6), 817-833.

Sección 5

Bisht, M. (2005). *Sanitation and Waste Management: A Perspective of Gender and Diplomacy.* Institute of Social Studies Trust, online document, New Delhi. http://www.gdrc.info/docs/waste/001.pdf

Dias, S. & Fernandez, L. (2013). Waste Pickers – A Gendered Perspective. In: Cela, B, I. Dankelman, J. Stern. (eds) *Powerful Synergies: Gender Equality, Economic Development and Environmental Sustainability.* UNDP: 153-157. http://wiego.org/publications/wastepi ckers-gendered-perspective

Mehra, R., Du, T.T.N., Nghia, N.X., Lam, N. N., Chuyen, T. T. K., Tuan, B. A., Tran, P. G., and Nham, N. T. (1996). Women in Waste Collection and Recycling in Hochiminh City. *Population and Environment,* 18 (2), 187-199.

Madsen, C. A. (2006). Feminizing Waste: Waste-Picking as an Empowerment Opportunity for Women and Children in Impoverished Communities. *Colorado Journal of International Environmental Law and Policy.* 17 (1).

Noel, C. (2010). Solid Waste Workers and Livelihood Strategies in Greater Port-au-Prince, Haiti. *Waste Management.* 30 (6), 1138-1148.

Ogando, A. C., Roever, S., Rogan, M. (2017). Gender and informal livelihoods: Coping strategies and perceptions of waste pickers in Sub-Saharan Africa and Latin America. *International Journal of Sociology and Social Policy,* 37, (7/8), 435-451.

Purdie-Vaughn, V. and Eibach, R. P. (2008). Intersectional invisibility: The distinctive advantages and disadvantages of multiple subordinate-group identities. *Sex Roles,* 59, 377-391.

WIEGO, NEPEM-UFMG, MNCR, INSEA (2005a). *From theory to action: Gender and Waste Recycling.* Book 1: Theoretical Considerations on Gender and Waste Recycling, by Dias, S. and Ogando, A.C. http://www.wiego.org/sites/default/files/resources/files/Dias-Ogando-gender-and-waste-toolkit-book-one.pdf

WIEGO, NEPEM-UFMG, MNCR, INSEA (2005b). *From theory to action: Gender and Waste Recycling.* Book 2: Project Design, Tools, and Recommendations, by Dias, S. and Ogando, A. C. http://www.wiego.org/sites/default/files/resources/files/Dias-Ogando-gender-and-waste-toolkit-book-two.pdf

WIEGO, NEPEM-UFMG, MNCR, INSEA (2005c). *From theory to action: Gender and Waste Recycling.* Book 3: Resource Book, by Dias, S. and Ogando, A. C. http://www.wiego.org/sites/default/files/resources/files/Dias-Ogando-gender-and-waste-toolkit-book-three.pdf

WIEGO, NEPEM-UFMG, MNCR, INSEA (2005d). *Women Waste Pickers: Discussing women's empowerment and changes in their relationships with men.* http://www.wiego.org/sites/default/files/resources/files/Gender-Toolkit-EN-LR.pdf

Anexo A

Azam, Amir, Mudasir N Peerzada, and Kamal Ahmad (2015). Parasitic Diarrheal Disease: Drug Development and Targets. *Frontiers in Microbiology* 6. Frontiers Media SA: 1183. doi:10.3389/fmicb.2015.01183.

Cernikova, Lenka, Carmen Fasoid, and Adrian B Hehlid (2018). *Five Facts about Giardia Lamblia.* doi:10.1371/journal.ppat.1007250.

Clasen, Thomas F, and Sandy Cairncross (2004). Editorial: Household Water Management: Refining the Dominant Paradigm. *Tropical Medicine & International Health* 9 (2). Wiley Online Library: 187–91. doi:10.1046/j.1365-3156.2003.01191.x.

Diarrhea: Common Illness, Global Killer (2018). (Acceso Oct. 1) www.cdc.gov/healthywater/pdf/global/programs/globaldiarrhea_la_508c.pdf

Fayer R, Xiao L. (2007). *Cryptosporidium and Criptosporidiosis. Cryptosporidium and Criptosporidiosis.* 2nd ed. Boca Raton (FL).

Marshall, Marilyn M, Donna Naumovitz, Ynes Ortega, and Charles R Sterling (1997). *Waterborne Protozoan Pathogens*. Vol. 10. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC172915/pdf/100067.pdf

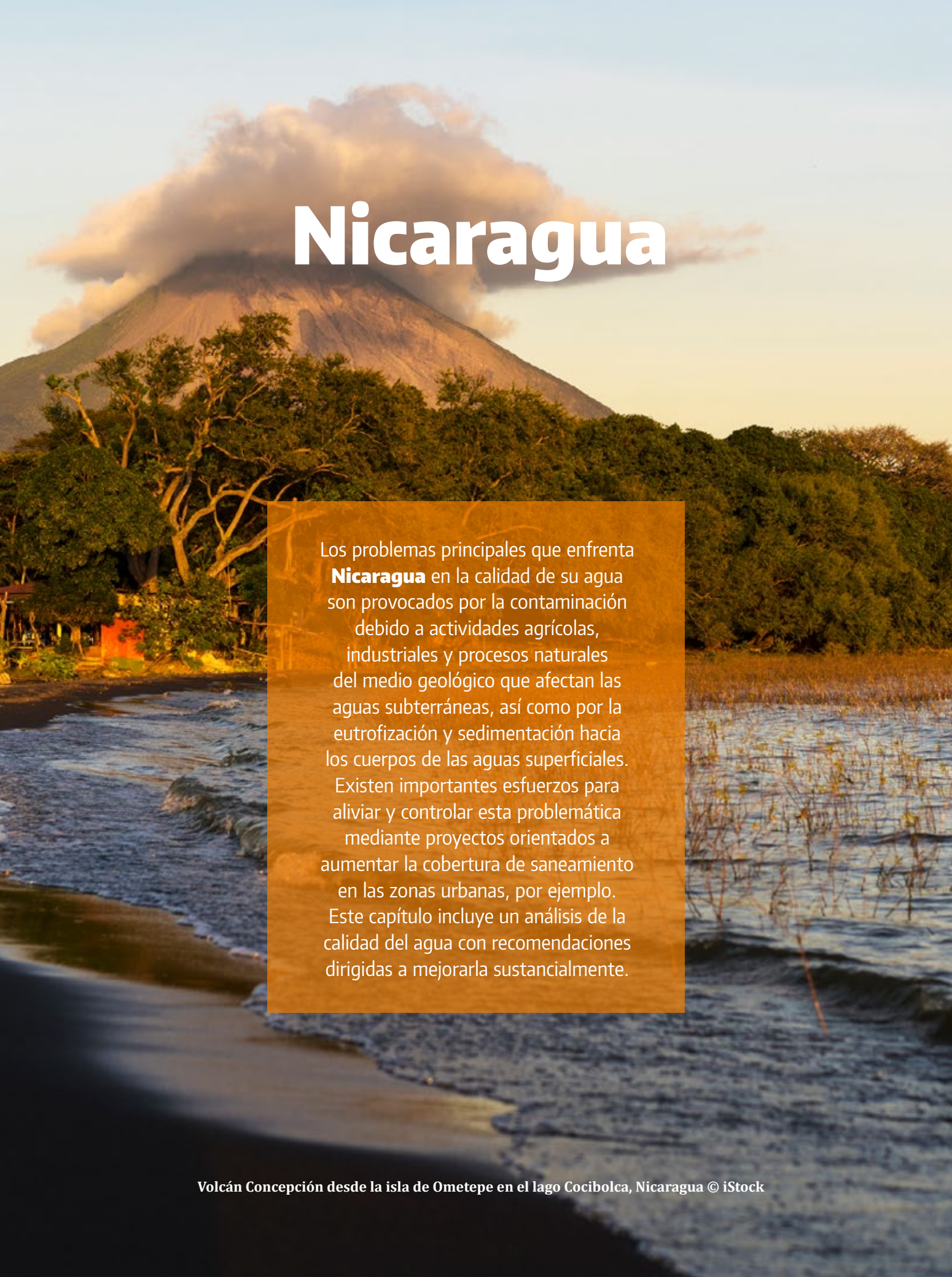
Shirley, Debbie-Ann T, Laura Farr, Koji Watanabe, and Shannon Moonah (2018). Open Forum Infectious Diseases ® A Review of the Global Burden, New Diagnostics, and Current Therapeutics for Amebiasis (Acceso Oct. 3). doi:10.1093/ofid/ofy161.

Wawrzyniak, Ivan, Philippe Poirier, Eric Viscogliosi, Meloni Dionigia, Catherine Texier, Frédéric Delbac, and Hicham El Alaoui (2018). *Blastocystis, an Unrecognized Parasite: An Overview of Pathogenesis and Diagnosis.* Acceso Oct. 1. doi:10.1177/2049936113504754.

WHO/FWC/WSSH/15.02. n.d. "BIOL WATER." http://www.who.int/water_sanitation_health/

Nicaragua

Los problemas principales que enfrenta **Nicaragua** en la calidad de su agua son provocados por la contaminación debido a actividades agrícolas, industriales y procesos naturales del medio geológico que afectan las aguas subterráneas, así como por la eutrofización y sedimentación hacia los cuerpos de las aguas superficiales. Existen importantes esfuerzos para aliviar y controlar esta problemática mediante proyectos orientados a aumentar la cobertura de saneamiento en las zonas urbanas, por ejemplo. Este capítulo incluye un análisis de la calidad del agua con recomendaciones dirigidas a mejorarla sustancialmente.



Volcán Concepción desde la isla de Ometepe en el lago Cocibolca, Nicaragua © iStock

Los retos para proteger la calidad del agua en Nicaragua

Katherine Vammen, Elizabeth Peña, Indiana García, Erick Sandoval, Mario Jiménez, Ivania Andrea Cornejo, Thelma Salvatierra, María José Zamorio, Claudio Wheelock, Analy Baltodano y Romer Altamirano

1. Introducción

Nicaragua posee un potencial hídrico abundante (recursos hídricos renovables) de 27 059 m^3 per habitante por año (FAO-AQUASTAT, 2013), lo que se encuentra arriba incluso del promedio centroamericano. Sin embargo, en las últimas dos décadas ha sufrido una reducción progresiva de 10 830 m^3 per habitante por año (Montenegro, 2016), lo que es una cantidad preocupante para el futuro del país que necesita asegurar el acceso al agua para la población y el desarrollo. Las causas de esta reducción son múltiples, pero en gran parte contribuye ***la pérdida en la calidad del agua en Nicaragua.***

Los Objetivos de Desarrollo, en particular el Objetivo 6, plantean mejorar la calidad de agua con medidas que controlan la contaminación por "descarga de productos químicos peligrosos, aumentar el tratamiento de aguas residuales y mejorar el reúso de ellos con control de su calidad" (United Nations, 2018). El logro de estos objetivos significa la introducción de medidas que representan grandes retos para la gestión de agua en Nicaragua.

Los problemas principales que impactan en la calidad del agua de Nicaragua consisten en los factores de cambio en el agua provocado por la contaminación por actividades agrícolas, industriales y procesos naturales por el medio geológico en aguas subterráneas, así como la eutrofización y aumento en la sedimentación hacia los cuerpos de agua superficiales. Las causas involucradas varían desde el cambio de uso de suelo (deforestación) en casi todo el territorio que promuevan aumentos en los procesos de erosión, la falta de cobertura de un saneamiento adecuado en las zonas urbanas y rurales del país, procesos de lixiviación

Katherine Vammen katherine.vammen@uca.edu.ni Coordinadora del capítulo. Directora del Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales, Universidad Centroamericana (UCA). **Elizabeth Peña** elizabetp@uca.edu.ni Investigadora del Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales, UCA. **Indiana García** Indiana.Garcia@fiq.uni.edu.ni Facultad de Ingeniería Química-UNI. **Erick Sandoval** ericks@uca.edu.ni Investigador del Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales, UCA. **Mario Jiménez** mjimenezgarcia72@yahoo.com Consultor en agua y salud, epidemiólogo. **Ivania Andrea Cornejo** acornejo@uca.edu.ni Investigadora del Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales, UCA. **Thelma Salvatierra** thelma.salvatierra@cira.unan.edu.ni Investigadora, Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. **María José Zamorio** coordinadordeica@uca.edu.ni Coordinadora Carrera Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente, UCA. **Claudio Wheelock** claudiow@uca.edu.ni Investigador del Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales, UCA. **Analy Baltodano** analy.baltodano@uca.edu.ni Investigadora del Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales, UCA. **Romer Altamirano** raltamirano@uca.edu.ni Profesor, Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente, Carrera Ingeniería Ambiental, UCA.

a aguas subterráneas y superficiales que contienen contaminantes de basureros de desechos sólidos mal manejados, ubicación de cuerpos de agua en zonas de volcanismo Holoceno que poseen termalismo activo y actividad sísmica y otros.

Es necesario mencionar que el sistema de Índices de Desempeño Ambiental (EPI, 2018) evalúa a Nicaragua en la categoría de Recursos de Agua con un puntaje de 0.00 lo que significa tener una posición de 143 de 180 países y en cuanto a Agua y Saneamiento con un puntaje de 41.96 para quedar en la posición 111. En cuanto a Vitalidad de Ecosistemas mostró un puntaje de 50.27 que significa la posición 105.

Este capítulo de Nicaragua tiene el objetivo en presentar la situación actual de los recursos de agua con prioridad en su calidad, los esfuerzos existentes para mejorar ésta y algunas recomendaciones para avanzar apuntando a limitar la pérdida de disponibilidad y respectivamente mejorar la calidad de agua, ya que ha sido reconocida como el recurso que más puede restringir la calidad de vida de la población y, por otro lado, la buena gestión como recurso puede marcar una pauta esencial para el desarrollo y el futuro del país.

Algunas Características Generales de los Recursos Hídricos de Nicaragua

Nicaragua tiene una extensión territorial de 130 373,47km^2 y de esta superficie 10 034km^2 son lagos, lagunas cratéricas y ríos (INIDE, 2000). El sistema hidrológico de Nicaragua se encuentra dividido en seis grandes cuencas hidrográficas de nivel 4: Cuenca de la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS) (9519), Cuenca de la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN) (9517), Cuenca del Río San Juan (952), Cuenca del Río Coco (9516), Cuenca del Río Grande de Matagalpa (9518) y la Cuenca del Pacífico (9533) según la metodología de Otto Pfafstetter (**Figura 1**). La cuenca de la región Autónoma de la Costa Caribe Sur es la más grande en 25 672.62 km^2. Todas las aguas superficiales de las 6 cuencas drenan al Caribe con excep-

Figura 1. Cuencas Hidrográficas de Nicaragua según metodología Pfaffstetter

Fuente: ANA, INETER, GIZ y UNI, 2014.

ción de la cuenca del Pacífico (9533). De los 80 ríos principales, 51 tienen su vertiente en el Mar Caribe, 12 en el Mar Pacífico; de ellos, 4 son afluentes del Lago Xolotlán y 12 al Lago Cocibolca, los que luego entran a la vertiente del Mar Caribe por medio del Río San Juan.

Aguas Subterráneas-Formaciones Geológicas y Acuíferos

Geología de Nicaragua

Según el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER y COSUDE, 2004), Nicaragua se clasifica en seis provincias geoestructurales: La Plataforma Mesozoica, Provincia del Núcleo Paleozoico, Cuenca de la Costa Atlántica, Provincia Ignimbrítica, Zona de Transición montañosa central, y Provincia volcánica del Sur y Parte SE del graben de Nicaragua.

Las erupciones volcánicas han permitido la deposición de suelos fértiles sobre todo en la región del Pacífico de Nicaragua y parte de la Central, zonas de mayor auge económico a través de la agricultura.

Aguas subterráneas

La clasificación geológica de Nicaragua es una de las condicionantes para definir los acuíferos que se localizan en el país, siendo los cuaternarios, depósitos aluviales, piroclásticos, aluviales antiguos y rocas del grupo Las Sierras los principales depó-

Figura 2. Principales acuíferos de Nicaragua y los grandes lagos nicaragüenses

Fuente: Elaboración propia (Elizabeth Peña) a partir de datos del INETER, 2016.

sitos de aguas subterráneas del país (Losilla *et al*., 2001) y, por tanto, de gran importancia hidrogeológica. Según el INETER (2016), Nicaragua cuenta con 12 acuíferos principales localizados en la zona del Pacífico y, de éstos, aproximadamente 70% son someros, siendo propensos a contaminarse dadas las características del medio. En las regiones Central y Caribe se localizan pequeños valles intramontanos.

El INETER, en su boletín hidrogeológico (2010), menciona que 80% de la población nicaragüense se abastece de agua subterránea que es utilizada para riego, industria y uso potable específicamente en la región del Pacífico de Nicaragua. En el siguiente mapa (**Figura 2**) se presenta la ubicación de los principales acuíferos del país en amarillo.

Aguas superficiales

Los grandes lagos nicaragüenses, Xolotlán (Managua) y Cocibolca (Nicaragua), (Figura 2) son los lagos más grandes de Centroamérica. El Lago Cocibolca es el lago tropical más grande en área de todas las Américas. Forma parte integral de la Cuenca del Río San Juan (Cuenca 952) de 19 533.46 km^2. Estos dos son lagos tropicales caracterizados por ser someros y polimícticos o expuestos a la acción de viento que generan la mezcla de sus aguas constantemente. El Lago Xolotlán (1016 km^2) ha sido el cuerpo receptor de aguas negras, aguas residuales industriales, domésticas y pluviales de la ciudad capital de Managua desde el año 1927 hasta el año 2009 cuando se instaló la planta de tratamiento de Managua. El Lago Cocibolca, por su nombre indígena, o Lago de Nicaragua es el lago número 20 en área de superficie mundialmente con 8144 km^2 (Schwoerbel, 1987). Este lago tropical está caracterizado por su escasa profundidad donde 60% tiene una profundidad de menos de 9 m, 37% entre 9 y 15 m y una profundidad máxima de 40 m en algunos lugares particulares (Instituto Geográfico Nacional, 1972; Mapa Batimétrico del Lago Nicaragua). Lagos someros tropicales son ecosistemas frágiles que tienen una dinámica de reciclaje distinto de nutrientes (Jorgensen, Tundisi, Matsumura-Tundisi, 2012) y poseen una biodiversidad especial que aún no ha sido estudiada en su totalidad. Los dos lagos se originaron por procesos tectónicos en el Mioceno y ocupan el fondo del "graben" tectónico.

Las aguas superficiales de Nicaragua también se distinguen por una riqueza de 16 lagos volcánicos, formaciones geológicas del tipo Maar, conocidas localmente como Lagunas Cratéricas y que en adelante así serán llamadas en este documento (**Figura 3**), distribuidas a lo largo de una cadena de volcanes del norte al sur del Pacífico de Nicaragua. La mayoría de ellas se encuentra en una zona tectónicamente activa que se llama el "graben" o la depresión de Nicaragua y se ubica en la caldera de los volcanes. Estos cuerpos de agua de origen volcánico tienen diferentes propiedades hidrogeoquímicas, dependiendo de las características geológicas en su ubicación y procesos tectónicos activos en su cuenca.

2. Impactos en la calidad de agua

En 2010, la Asamblea General de la Organización de Naciones Unidas adoptó la resolución vinculante en que se declaró el acceso a agua potable *segura y limpia* y saneamiento un derecho humano que ha sido reconocido por los estados miembros. Este derecho se extiende a ecosistemas acuáticos ya que agua es un recurso natural renovable y su origen no es de un grifo de agua ni termina en un inodoro; más bien, las fuentes de nuestra agua han sido convertidas en cuerpos receptores de nuestras aguas residuales y desechos sólidos (UNEP, 2017). Al reconocer y diagnosticar los **impactos en la calidad de agua** se genera información necesaria para planificar esfuerzos en asegurar y proteger las fuentes de agua con buena y adecuada calidad para el uso destinado.

La calidad de agua en los recursos hídricos tiene un valor social y económico en la actualidad como fuente de abastecimiento de agua, asociada a los diferentes usos de la población como agua potable, agua para riego, medio para la preservación de biodiversidad de los ecosistemas acuáticos y, por supuesto, representa un potencial para el desarrollo y futuro de un país. Cuando existen procesos que interfieren con los diferentes usos de los cuerpos de agua para el ser humano o degradan el valor ecológico en la preservación de ecosistemas, se procura analizar el estado del cuerpo de agua y buscar soluciones que finalmente significan mejorar la gestión de agua en las cuencas hidrográficas, que pueden aportar o limitar los impactos que afectan la *calidad de agua.*

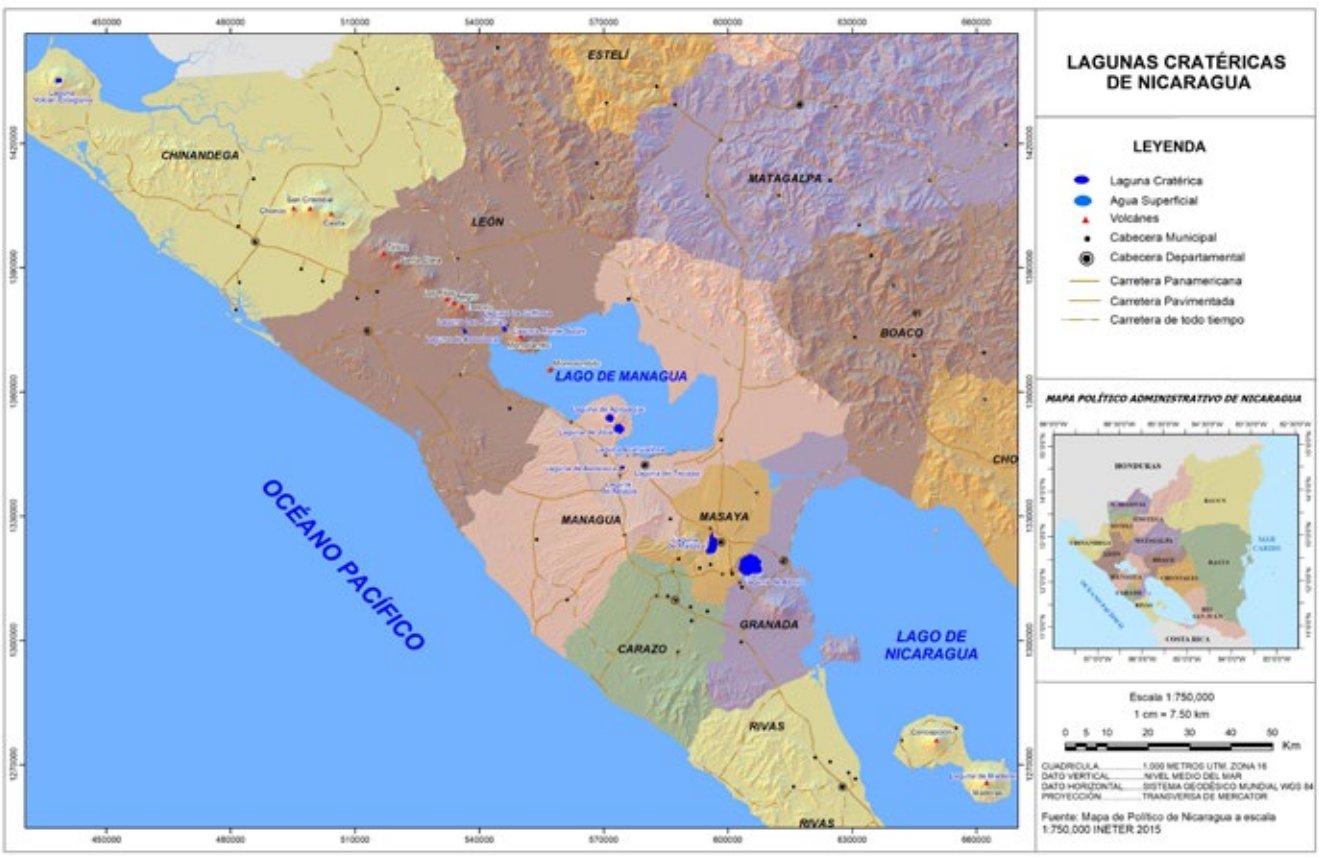
La calidad de los recursos hídricos de Nicaragua ha sido sometida a diferentes tensores que incluyen:

- Eutrofización de las aguas superficiales.
- Influencia físico química natural por actividades geológicas asociadas a alteración hidrotermal en áreas específicas, producto del vulcanismo del terciario.
- Procesos de contaminación debido a la urbanización sobre las lagunas cratéricas, los dos grandes lagos nicaragüenses y aguas subterráneas.
- Contaminación por agroquímicos y fertilizantes debido a las actividades agrícolas.
- Polución de aguas superficiales originada en la minería (artesanal e industrial).
- Aumento en la sedimentación hacia las aguas superficiales debido a la masiva deforestación y cambios en usos de suelos observados en las últimas décadas.
- Salinización de las aguas subterráneas en áreas costeras y lagunas cratéricas.
- Contaminación por aguas residuales debido a inadecuado tratamiento que afecta la calidad microbiológica y química de los cuerpos receptores de agua.
- Lixiviación a aguas subterráneas y cuerpos de agua superficiales por el mal manejo de desechos sólidos.

Eutrofización y Contaminación Microbiológica de Aguas Superficiales

El proceso acelerado de enriquecimiento de los cuerpos de agua con nutrientes estimula un deterioro en la calidad de agua con cambios sintomáticos como son: aumento en la producción de fitoplancton, reducción en la penetración de luz y la pérdida de biodiversidad en todos los niveles tróficos detectado por la simplificación de la estructu-

Figura 3. Lagunas Cratéricas de Nicaragua ubicadas en la cadena de volcanes de la Zona Pacífico



Fuente: Elaborado por E. Peña, 2018, con base en datos del INETER, 2015.

ra comunitaria. La eutrofización interfiere con los usos del cuerpo de agua para el ser humano volviendo su tratamiento más difícil y, por tanto, más costoso.

La contaminación microbiológica se ha evidenciado en programas de monitoreo de calidad de agua donde se ha encontrado la presencia de patógenos por indicadores de contaminación fecal, coliformes fecales y *Escherichia coli* en casi un tercio de los ríos de África, Asia y Latinoamérica, lo que apunta al riesgo para la salud de millones de personas (UNEP, 2016).

Los grandes lagos de Nicaragua, **Xolotlán** y **Cocibolca**, han sufrido procesos acelerados de eutrofización en las últimas décadas provocados por una contaminación puntual de urbanizaciones y, por supuesto, desde su cuenca por procesos difusos. Se refiere, en el último caso, a causa de cambios de uso de suelo en sus cuencas que han estimulado un aumento en la erosión y, por tanto, un incremento en la sedimentación hacia los lagos; desde luego, en el caso del Xolotlán fue principalmente por la urbanización en sus orillas, especialmente desde la ciudad capital de Managua. La contaminación puntual desde los municipios y ciudades alrededores que no tienen tratamiento adecuado de sus aguas residuales han contribuido al aumento en nutrientes entrando a los dos lagos.

El Lago Xolotlán fue el cuerpo receptor de los desechos residuales de la ciudad capital de Managua desde el año 1927 hasta la instalación de la planta de tratamiento de Managua en 2009. En un estudio realizado por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN, 2008), un año antes de la instalación de la planta de tratamiento, se encontraron extremadamente altas concentraciones de nutrientes, fósforo total (0,87 $mg.l^{-1}$ - 1,17 $mg.l^{-1}$) en un promedio de 16 puntos de muestreo en cuatro fechas de monitoreo durante los años 2007 y 2008. Al aplicar el cálculo del nivel trófico (Carlson, 1977; Toledo *et al*., 1984) que toma en cuenta fósforo total, ortofosfato (caso de Toledo *et al*., 1984), transparencia y clorofila-a, se detectaron los estados tróficos más altos de eutrófico e hipertrófico predominantes en todos los puntos distribuidos en el lago. Se concluyó que "la pérdida de calidad del agua en el ecosistema fue debido a la entrada de aguas residuales sin tratar y el mal uso de los suelos en su cuenca de drenaje". (CIRA/UNAN, 2008).

Cinco años después de la instalación de la Planta de Tratamiento de Managua en los años 2014 y 2015 (CIRA/UNAN-CSRSR, 2014-2016), se realizó un monitoreo del agua del lago, encontrando fósforo total en un rango similar de 0,542 mg. l^{-1} – 1,038 $mg.l^{-1}$; luego de analizar el estado trófico (resultado de análisis del estado trófico por Carlson, *Eutrófico*; resultado por Toledo, *Hipertrófico*) (calculado por A. Baltodano y K. Vammen, con datos facilitados por CSR-SR-Taiwán, 2018) se observó poco cambio en el estado trófico entre eutrófico a hipertrófico. Este lago ha perdido su potencial para el uso como fuente de agua potable y para riego, precisamente por los cambios de uso de suelo en su cuenca inmediata y por la entrada de los desechos líquidos, pluviales y desechos sólidos que han impactado la calidad de sus aguas por la entrada de nutrientes y excesivamente altas concentraciones de sólidos disueltos (promedio de 1121,21 $mg.l^{-1}$) provenientes de las dos fuentes (CIRA/UNAN, 2008).

Además, se han encontrado en otros estudios el metaloide tóxico de arsénico en concentraciones que superan el valor guía de 10$\mu g.l^{-1}$ de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) para agua potable, e igualmente con la guía canadiense de calidad de agua para la protección de la vida acuática en sistemas de agua dulces (5 $\mu g.l^{-1}$) (CCME, 2007), observados en resultados de monitoreo de CIRA/UNAN de 2008 con concentraciones que varían de 19,59 $\mu g.l^{-1}$ a 56,18 $\mu g.l^{-1}$ y en 2011 con un rango de concentraciones de 18,8 a 25,0 $\mu g.l^{-1}$ (CIRA/UNAN, 2008; CIRA/UNAN, 2011). También Parello *et al*. (2008) reportan concentraciones entre 24,7 $\mu g.l^{-1}$ a 31,8 $\mu g.l^{-1}$ en el lago. Boro es otro elemento que excede las concentraciones en el agua y que limita el uso del agua del lago para riego, ya que concentraciones de 1 a 2$mg.l^{-1}$ pueden impedir el crecimiento normal de algunos cultivos (FAO, 1994). Boro ha sido encontrado por Parello *et al*. (2008) entre 1,13 $mg.l^{-1}$ - 2,05 $mg.l^{-1}$ y CIRA/UNAN (2008) con un promedio de 2,42 $mg.l^{-1}$. Los efectos en la calidad de agua relacionados con las altas concentraciones de arsénico, boro y sólidos disueltos podrían ser, en parte, influidos por volcanismo en la cuenca inmediata y actividades hidrotermales en las riberas e internamente del Lago Xololtán ubicado en la depresión Miocénica de Nicaragua (Parello, 2008).

Los cambios en el uso de suelo de la cuenca del **Lago Cocibolca**, en la mayoría de sus subcuencas,

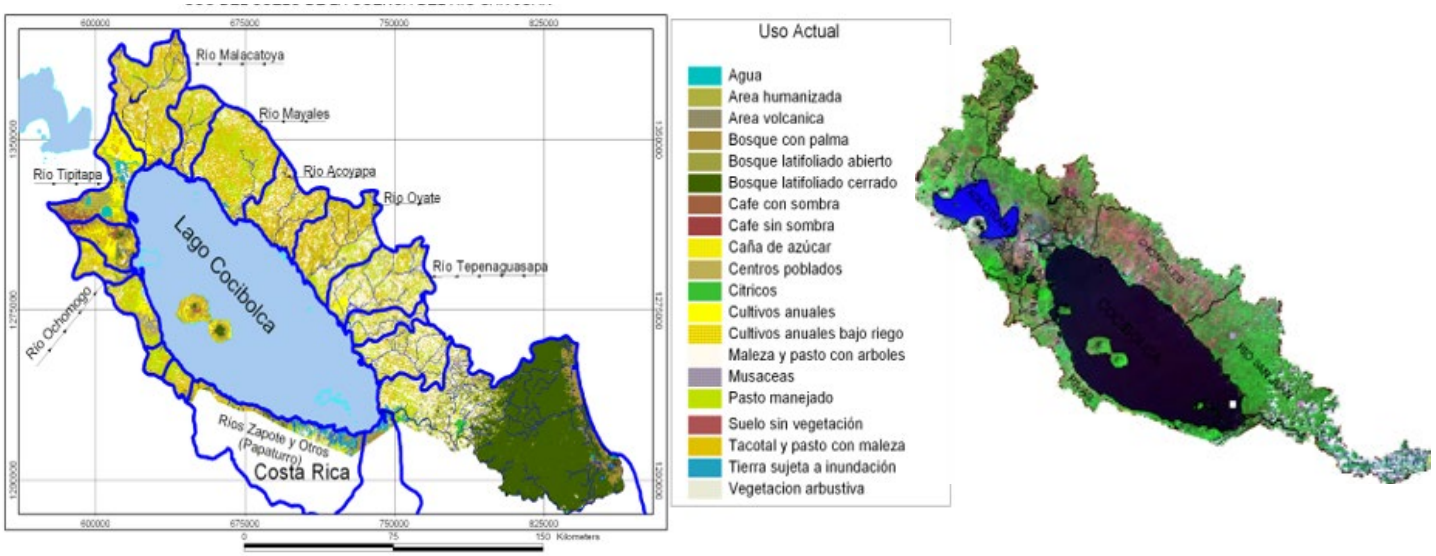
ha sido transformado en tierra por el uso de pastizales, mediante procesos de deforestación progresiva en el tiempo (Vammen, 2006). Se observa el uso de suelo en la cuenca del lago (**Figura 4**) por medio del mapa de sus subcuencas y la imagen satelital; 75% está dedicado a uso de pastizales de diferentes formas, 8,8% a la agricultura y 15% son bosques.

Este cambio de uso de suelo ilustrado en interacción con las características geológicas volcánicas y suelos promueven un aumento en los procesos de erosión en la cuenca, lo que conduce a más sedimentación a los tributarios del lago e impulsa la aceleración de eutrofización en el lago (Vammen, 2006).

El monitoreo de la calidad de agua del Lago Cocibolca más reciente se realizó de 2014 a 2016 (Chang *et al*., 2017) en un proyecto entre el CIRA/UNAN y CSRSR-Taiwan: Proyecto-Monitoreo de los dos Grandes Lagos Nicaragüenses-Lago Xolotlán y Lago Cocibolca, con el fin de establecer un Sistema de Teleobservación por Satélite para Evaluaciones Futuras de la Calidad de Agua. Los resultados del análisis del nivel trófico han identificado el estado mesotrófico a eutrófico del agua con zonas de elevada eutrofización ubicado en la entrada del río Tipitapa que conecta con el Lago Xolotlán y alrededor de ciudades que aún no tienen un sistema de saneamiento adecuado o donde entran aguas pluviales (nivel trófico calculado por A. Baltodano, y K. Vammen, con datos facilitado por CSRSR-Taiwán, 2018). Según el cálculo de Carlson (1977), una tercera parte de los puntos en las diferentes fechas de muestreo indicó el nivel mesotrófico; usando el cálculo de Toledo (1984) se detectó 13% de los puntos en el nivel mesotrófico. Los demás puntos fueron clasificados como eutrófico.

Actualmente, ya existen tres ciudades que toman agua del lago conectado a un sistema de tratamiento-purificación: Juigalpa (60 535 habitantes) (INIDE, 2018), San Carlos (51 313 habitantes) y San Juan del Sur (15 811 habitantes), y existen proyectos en construcción o planificación para Cárdenas (7 539) y Rivas (53 208) con el objetivo de asegurar agua potable del lago. "Se espera que con el aumento del uso del agua del Lago para abastecimiento humano se potencien las acciones para mejorar la gestión de cuenca del Lago" (entrevista personal con el director de Proyectos de Agua y Saneamiento de AECID, Lic. Miguel Torres), lo que implica mejorar el uso del suelo y prevenir los procesos de erosión de suelos; por tanto, controlar la contaminación difusa hacia el lago. Esto implica regular el uso de fertilizantes, mejorar las formas de manejar la ganadería, reforestación, reestablecer zonas riparias, reestablecer la parte alta de las subcuencas del lago como reserva forestal y más. Actualmente existen muchos esfuerzos para instalar y completar alcan-

Figura 4: Uso de suelo de la Cuenca del Lago Cocibolca e imagen satelital



Fuente: Datos se origen del Estudio de Uso del Suelo de la Cuenca del Lago Cocibolca (MARENA, 2011); mapas elaborados por Yelba Flores.

tarillado en las ciudades alrededor del lago y la Isla de Ometepe como Cárdenas, Granada y San Carlos que, con tiempo, controlarán la entrada puntual de nutrientes al lago. Es importante notar que no solamente se recomienda controlar las aguas domésticas sino también las aguas pluviales urbanas. En el caso de Granada se ha observado que, aunque en parte está funcionando el sistema de alcantarillado, aún hay puntos críticos en el lago precisamente donde salen los arroyos que llevan las aguas pluviales urbanas y que, además, llevan desechos sólidos (Lic. Miguel Torres).

Calidad de agua en las lagunas cratéricas

Las lagunas cratéricas de Nicaragua poseen diferentes características químicas según su origen, ubicación, actividades tectónicas o volcanismo en proceso o del pasado. Muchas de ellas tienen aguas salinas causado por el termalismo presente en su alrededor o en su fondo (Parello, 2008). La gran mayoría de las lagunas sufren impactos por los procesos sísmicos y volcánicos cambiantes y/o también por actividades humanas que han causado degradación en su calidad de agua.

La riqueza hídrica de estas lagunas de origen volcánico con sus ecosistemas acuáticos poseen una biodiversidad especial según las propiedades del agua; muchas de ellas también están bajo diferentes impactos antropogénicos principalmente en las zonas urbanas de Nicaragua. Aunque existe una Norma Técnica para el Control Ambiental de las Lagunas Cratéricas (NTON 05 002-99, MARENA,1999), no se implementa y existe una falta de protección y gestión. La norma describe muy bien las características especiales: "[…] los ecosistemas acuáticos de origen volcánico por sus condiciones naturales son considerados como ecosistemas frágiles debido a sus características metamórficas y sus condiciones endorreicas muy susceptibles a los impactos de contaminación, eutrofización y sedimentación".

Existen cinco lagunas ubicadas en áreas urbanas de Nicaragua, cuatro en Managua (con una población urbana de 1 388 927) y una en Masaya (con una población urbana de 218 566), y se detallan dos casos con información sobre los impactos en la calidad causados por fenómenos debido a la urbanización.

Las aguas de la **Laguna de Tiscapa**, ubicada en Managua, han sido sometidas fuertemente a impactos ambientales por la mala gestión desde su cuenca que consiste en el arrastre y colmatación de sedimentos debido al deterioro de su área de drenaje (23.10km^2) y su utilización como receptor de aguas pluviales, así como domésticas y desechos sólidos provenientes y arrastrados desde los cauces urbanas de San Isidro de la Cruz Verde desde 1958, Jocote Dulce y los Duartes desde 1980. Originalmente, la laguna fue recomendada como fuente de abastecimiento de agua potable para Managua (Eckman, 1893) en un informe de Hazen y Sawyer de 1964 y, nuevamente, en un estudio de la ONU (1975) donde se destacó que la calidad química fue apta para agua potable y que con un plan de acción en su cuenca se podría evitar la contaminación microbiológica. En los años 80 fue dedicada a área de recreación, lo que en parte se recuperó nuevamente en la instalación de elementos recreacionales en los años 90. En un estudio que se realizó en 2008 por CIRA/UNAN, se demostró que la calidad de agua había sometido a un fuerte proceso de eutrofización y sus aguas indicaban los niveles más fuertes del estado trófico entre eutrófico e hipertrófico. También la calidad microbiológica de sus aguas fue sometida a deterioro y se ha determinado en varios estudios que sus aguas ya no son aptas para uso recreacional, evidenciando contaminación de origen fecal (Chacón, 1994). Su biodiversidad ha sido cambiada drásticamente evidenciando la fuerte dominancia de Cyanophyta, lo que indica aguas ricas en nutrientes y sustancias orgánicas proveniente de su cuenca, así como la entrada de aguas pluviales y domésticas por los cauces urbanos mencionados. En varias ocasiones se ha intentado tratar las aguas con sistemas de bacterias especiales para descomponer la contaminación orgánica, pero sin éxito ya que no se había solucionado la entrada de las aguas residuales de los cauces y el desbordamiento del sistema de alcantarillado; tampoco se realizó un plan de gestión en su microcuenca con el fin de controlar la pérdida de calidad en sus aguas. El potencial como agua potable se ha perdido por la falta de implementación de medidas para proteger el lago de la eutrofización, contaminación microbiana y como cuerpo receptor de sedimentos de su cuenca que ha reducido considerablemente el volumen de agua por colmatación con sedimentos y como consecuencia la perdida de profundidad.

La **Laguna de Masaya**, ubicada en la ciudad de Masaya, es la segunda más extensa (8,8km^2) de todas las lagunas cratéricas. Está ubicada en un área

de descarga para aguas subterráneas del acuífero, parte de la cuenca subterránea de Masaya-Tisma. Su agua también es una fuente importante para el acuífero de Managua (INAA-JICA, 1993). A pesar de su importancia como potencial para agua potable y fuente de otros acuíferos para agua de consumo, la laguna ha servido como cuerpo receptor para aguas servidas en las últimas 8 décadas. Primeramente, en 1936 recibió las aguas residuales del Hospital San Antonio y, en 1973, fue diseñado el primer sistema de saneamiento para la ciudad de Masaya para una población de 13,533 habitantes; en 1985 se construyó la segunda laguna seguida por la ampliación a 6 lagunas en 3 módulos con 2 lagunas de estabilización en serie, en el año 1988 (comunicación de autoridades de ENACAL, Ing. Sergio Tercero Talavera y Ing. Mario Gutiérrez Soto, 2012), y siempre con la salida de sus agua efluentes a la Laguna de Masaya.

Para diagnosticar el estado de la calidad de agua de la Laguna de Masaya, CIRA/UNAN realizó un estudio en 2012-2013 por un periodo de un año, donde los resultados mostraron el impacto severo sobre la calidad de agua por la entrada de los efluentes de la laguna oxidación: 1) se encontró 80% de la columna de agua en un estado anóxico en la mayoría de los puntos, monitoreado en 4 muestreos en el ciclo anual, 2) su calidad microbiológica se vio fuertemente afectada, encontrando evidencia de altas concentraciones de organismos indicadores de contaminación fecal, dada la composición del efluente entrando de carácter residual doméstico, 3) su nivel trófico varía desde hipertrófico en el punto de descarga y mesotrófico a eutrófico dependiendo de cambios en volumen de agua de la laguna y, por supuesto, relacionado a la cantidad de precipitación en el transcurso del año, y 4) se encontraron concentraciones de amonio que excedieron los valores de referencia para proteger organismos acuáticos y episodios críticos por altas concentraciones (1,2mg.l^{-1}) en toda la columna de agua.

La fuente más predominante de contaminación fue el efluente de la laguna de oxidación, pero además existe influencia en algunos periodos del año por escorrentía entrando por su microcuenca inmediata. La Norma Técnica para el Control Ambiental de Lagunas Cratéricas (MARENA, 1999) establece que no se permiten en las lagunas cratéricas, directa o indirectamente, aguas residuales tratadas o no tratadas, de origen doméstico, industrial o agropecuario, ni la canalización de aguas pluviales que lleven desechos sólidos, lo que ilustra que no ha sido implementado en esta laguna cratérica.

Un estudio paleolimnológico (Fuentes, 2015), que involucró el fechamiento de los sedimentos (correspondiente a 130 años), mostró la sedimentación hacia la laguna fuertemente en aumento desde los años 60 con la última década, registrando los máximos al aporte de sedimentos al fondo. Se analizó con el estudio de la biodiversidad de algunos grupos de organismos preservados en los sedimentos que, a partir de los años 50, hubo una tendencia a la simplificación de la biodiversidad, o sea, aumentó la dominancia de ocho especies.

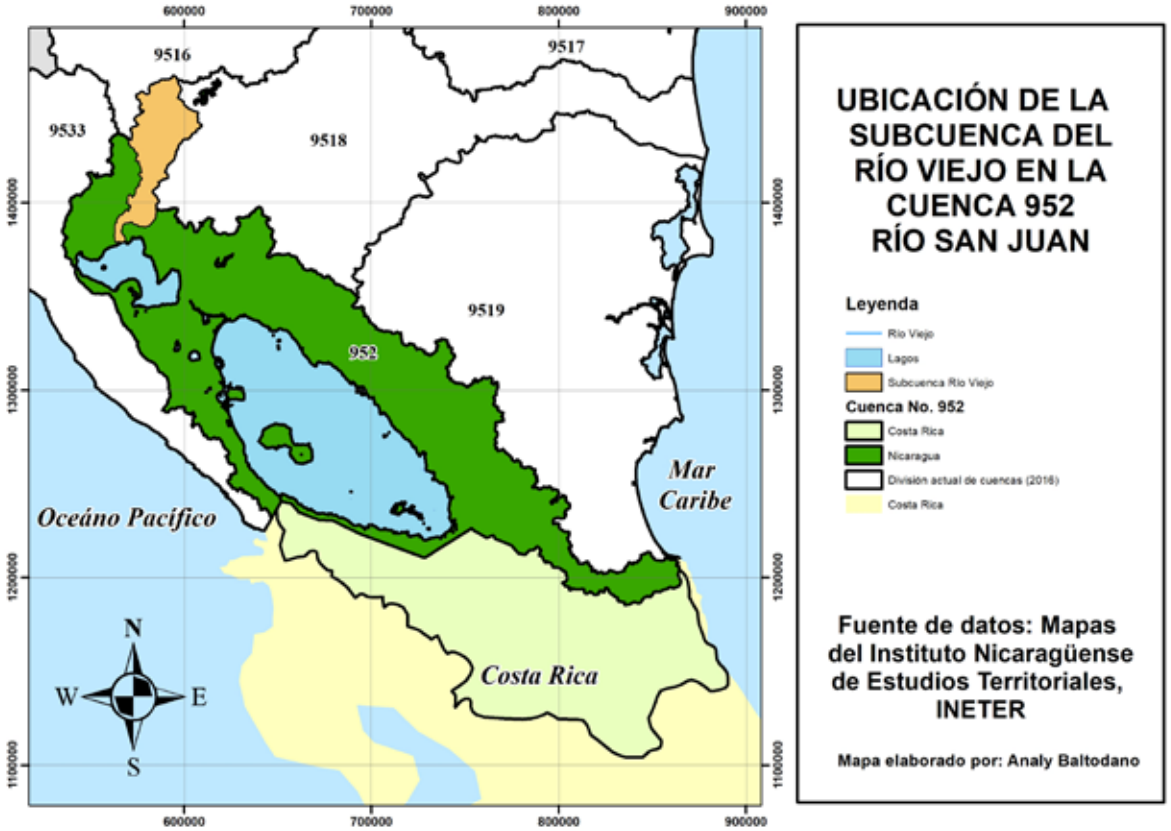
Actualmente está en curso la reforma del sistema de tratamiento de las aguas domésticas de la ciudad de Masaya y, en un periodo de dos años, está previsto inaugurar la nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en esta ciudad, un proyecto de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). Este proyecto evitará el vertido directo que actualmente se realiza sobre la Laguna de Masaya, eliminando su principal fuente de contaminación (comunicación personal, Lic. Miguel Torres, AECID).

Calidad de agua en algunos ríos de Nicaragua

Los impactos en la calidad de agua en Nicaragua han sido observados y documentados también en algunos de los ríos donde se destaca la degradación ambiental como aumento en la sedimentación desde áreas erosionadas de sus cuencas debido a cambio de uso de suelo, en particular, deforestación, contaminación por aguas domésticas debido a la falta de sistemas de saneamiento en ciudades y zonas rurales, uso indiscriminado de sus aguas para riego en la agricultura que afecta el caudal ecológico del río y contaminación por fertilizantes y plaguicidas usados en la agricultura.

Río Viejo tiene importancia estratégica para Nicaragua, ya que se ubica en la zona alta de la Cuenca del Río San Juan (Cuenca 952), o sea, la cuenca de los grandes lagos que drena finalmente hacia la vertiente del Caribe Sur de Nicaragua (**Figura 5**). La propia cuenca del Río Viejo de 1 553km^2 abarca 12 municipios y el río tiene una longitud de 157km, que al final descarga al Lago Xolotlán.

Figura 5. Ubicación del Río Viejo en la Cuenca del Río San Juan



Fuente: INETER, 2017. Elaboración propia de Analy Baltodano.

Se realizó un diagnóstico sobre la calidad y disponibilidad de las aguas de la subcuenca de Río Viejo (**Figura 5**) en 2010 y 2011 (Vammen, 2012) con el fin de generar información multidisciplinaria que sería utilizada en desarrollar una estrategia para la subcuenca que garantizara un estado ambientalmente equilibrado en beneficio de la población. Para mencionar algunas de las conclusiones de la investigación: 1) la producción hídrica en la parte alta de la subcuenca del Río Viejo es alta a mediana, mostrando la importancia de su protección y reforestación, 2) se encontró en todas sus microcuencas procesos de deforestación y, por el hecho de que el terreno posee pendientes inclinadas, predomina más la escorrentía sobre la recarga y provoca que los caudales base no se mantengan en época seca, 3) contaminación microbiológica por fecalismo (humano y ganado) en el río y en aguas subterráneas, que representa un factor de riesgo para el consumo y recreación de la población, y 4) sobreexplotación del agua superficial en el uso de agua para riego.

Con base en las conclusiones del diagnóstico, algunos de los componentes más importantes de la estrategia integral institucional que se recomendaron para mejorar la gestión integrada en la subcuenca del Río Viejo para asegurar la calidad de agua fueron: 1) regular el volumen de agua para irrigación e introducir sistemas de tratamiento de aguas de retorno de riego, 2) promover buenas prácticas agrícolas en el uso de plaguicidas, 3) trabajar en planes de saneamiento para mejorar la disposición de desechos sólidos y líquidos, 4) educación ambiental e introducción de actividades de la población dirigida a la protección de pozos y calidad de agua del río, para mejorar la gestión integrada en la subcuenca del Río Viejo, 5) introducir zonas protegidas especialmente en la parte alta y protección de zonas de recarga en toda la subcuenca, 6) reordenar los centros urbanos (introducción de alcantarillado sanitario en la Trinidad, 12 538 población urbana), lo que actualmente está en proceso, 7) declarar la parte alta como zona de reserva

forestal y diseñar planes de reforestación en zonas con potencial, 8) establecer zonas de protección hídrica en la zona riparia del río, y 9) controlar el acceso del ganado a las fuentes de agua del río y pozos (Vammen, 2012).

Calidad de agua en los esteros y lagunas costeros

Nicaragua tiene el gran beneficio ecológico de contar con dos vertientes hídricas: hacia el Atlántico (Caribe) y hacia el Pacífico. Posee 910 km de línea de costa con 509 km en el Caribe y 325 km en el Pacífico. Además, sus costas están dotadas con alta riqueza de esteros y lagunas costeras. La mayoría de ellos tienen problemas ambientales que afectan su calidad de agua y ecosistemas debido a la entrada de aguas residuales provenientes de la agricultura, de origen doméstico e industrial.

El de mayor extensión del Pacífico y más importante es el **Estero Real**, el cual desemboca en el Golfo de Fonseca, aportando una cantidad significativa de agua dulce (aproximadamente 1443 m^3/año) (González, 1997).

La Reserva Natural Delta del Estero Real fue reconocida por la convención RAMSAR como "Humedal de Importancia Internacional" en el año 2003, dados sus valores como humedal y por la productividad que genera el ecosistema manglar, así como la importancia de su hábitat al paso de aves migratorias por el sitio. El río Estero Real en su desembocadura, en el Golfo de Fonseca, tiene beneficios económicos, ya que presenta condiciones favorables para la camaronicultura y existen extensas áreas dedicadas a esta actividad.

El Bravo *et al*. (2016), del Instituto de Capacitación, Investigación y Desarrollo Ambiental (CIDEA-UCA), en su trabajo "Desarrollo de un Sistema de Monitoreo Ambiental para Mejorar la Prevención y Capacidad de Adaptación al Cambio Climático de las Comunidades Pesqueras y Acuícolas: Caso de Estudio Estero Real, Nicaragua" realizaron estudios fisicoquímicos durante 6 meses en 2013 y 2014 al agua del Estero Real para examinar la calidad de agua en un transecto de 5 puntos, iniciando en la desembocadura del río al estero hacia la parte media. Los resultados indicaron que existe un deterioro en la calidad de agua indicada por la reducción de las concentraciones de oxígeno disuelto a medida que se aleja de la desembocadura, que al mismo tiempo corresponde a un aumento en los sólidos suspendidos, lo que apunta a procesos de sedimentación causados por erosión de los suelos debido a actividades agrícolas en la cuenca inmediata del estero. Además, se encontraron residuos de plaguicidas, organoclorados y organofosforados en los sedimentos (DDE, un metabolito, producto de descomposición de DDT) utilizados en la cuenca durante el *boom* del algodón en las décadas de los 50 a los 80.

Los resultados de este estudio sirvieron para el Desarrollo de un Sistema de Monitoreo Ambiental para Mejorar la Prevención y Capacidad de Adaptación al Cambio Climático de las Comunidades Pesqueras y Acuícolas, con apoyo de la FAO, y el producto principal fue un *Manual de Monitoreo Ambiental* que incluye los pasos de monitoreo que puede ser replicado en otras localidades bajo presión ambiental y climática para la pesca y acuicultura.

La calidad microbiológica del agua de los esteros Padre Ramos, Aserradores y el Realejo, ubicados en la región occidental, resultó ser afectada por la escorrentía que arrastra materia fecal depositada en los pastizales, los establos y por las letrinas mal construidas y ubicadas en las comunidades cercanas a esos cuerpos de agua. En un estudio bacteriológico (Sandoval y Saborío, 2008) realizado específicamente en los sitios de recolección de conchas negras, se encontró la presencia de *Escherichia coli* tanto en los meses de verano como en invierno, siendo en este último cuando se registraron las concentraciones más elevadas de esta bacteria, indicador de contaminación fecal en los tres esteros.

En esos mismos esteros también se estudió la prevalencia del virus de la Hepatitis A, mientras se estudiaba el molusco *Anadara spp*, ya que este organismo se alimenta por filtración y de esa manera actúa como un bio-acumulador; se encontró una prevalencia de 0.78% de muestras positivas a VHA lo que demuestra que, en estos cuerpos de agua salinos, se producen descargas de aguas negras sin previo tratamiento (Saborío y Sandoval, 2008).

Deforestación y sedimentación en Nicaragua y sus efectos en la calidad de agua

Bosques y árboles son importantes como moduladores de flujo del agua en el ciclo hidrológico (Bonell y Bruijnzeel, 2005). Los bosques pueden tener una

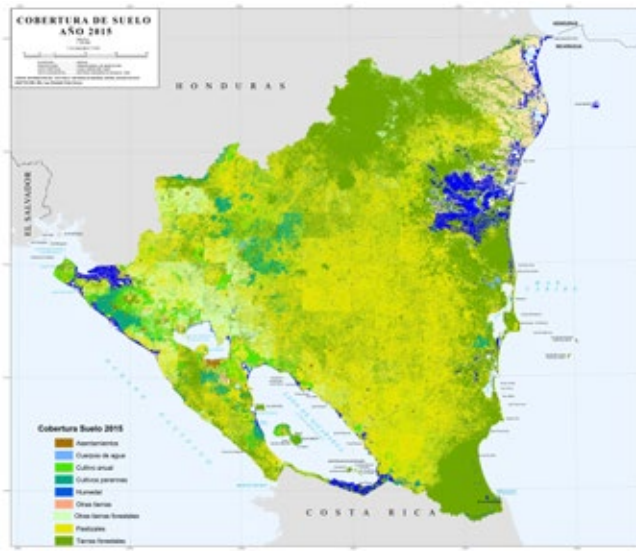
Figura 6. Cambio en la cobertura forestal de Nicaragua 1983, 2000, 2011 y 2015

Uso de Suelo 1983 (MAGFOR- Mapa de Cobertura Vegetal)

Uso de Suelo 2000 (MAGFOR)

Uso de Suelo 2011 (MAGFOR)

Uso de Suelo 2015 (INETER)



influencia directa sobre la calidad de agua en ríos y otras corrientes, que incluye factores como temperatura, contenidos de sedimentos y nutrientes y demanda biológica de oxígeno (Stelzer *et al.*, 2003). Áreas forestales pueden ser zonas barreras que actúan como filtros para sedimentos, nutrientes y contaminantes antes que lleguen al agua, o sea, limitan la erosión y, en consecuencia, la entrada de sólidos del suelo con todos sus constituyentes al agua.

Nicaragua es un país con potencial forestal que se estima en 71,9% (vocación forestal y agro/silvopastoril) de la superficie total del territorio nacional (MAGFOR, 2002). En 2015, el INETER reportó una cobertura de bosque en 30% (3,938,670 ha) del territorio nacional. Aproximadamente 89% de los bosques se encuentra en la Costa Caribe de Nicaragua donde se encuentra un millón de habitantes que viven de los bosques (MARENA, 2017).

Los bosques de Nicaragua han sido sometidos a un fuerte proceso de reducción (un promedio de 70 000 ha anuales en los últimos 50 años), lo que ha llevado a la conversión de importantes áreas de suelos de vocación forestal a otro tipo de uso, especialmente agrícola y ganadero (INAFOR, 2008). En el estudio de Crisis Socio-Ambiental de Nicaragua Post Sequía (2016), realizado por el Centro Humboldt y el conjunto de organizaciones de la Alianza Nicaragüense ante el Cambio Climático, se realizó un análisis comparativo de la cobertura forestal a partir de los datos oficiales del Ministerio de Agricultura y Forestal (MAGFOR) sobre el Uso Actual del Suelo en 2011 y datos actualizados al 2016 (enero-abril) donde se priorizaron seis departamentos. Se determinó una reducción del bosque latifoliado abierto y cerrado, correspondiente a más de 36 000 hectáreas y en segundo lugar una reducción de más de 6 000 hectáreas de bosque de pino abierto y cerrado para los departamentos de Madriz, Boaco, Nueva Segovia, Estelí, Chinandega y Jinotega.

Tomando como referencia los mapas de uso de suelos de los años 1983, 2000, 2010 y 2015 (**Figura 6**) realizados por el MAGFOR y el INETER, se pueden apreciar los cambios grandes en cuanto al aumento en los pastizales, cultivos (perennes y anuales) y su correspondiente descenso en las áreas forestales.

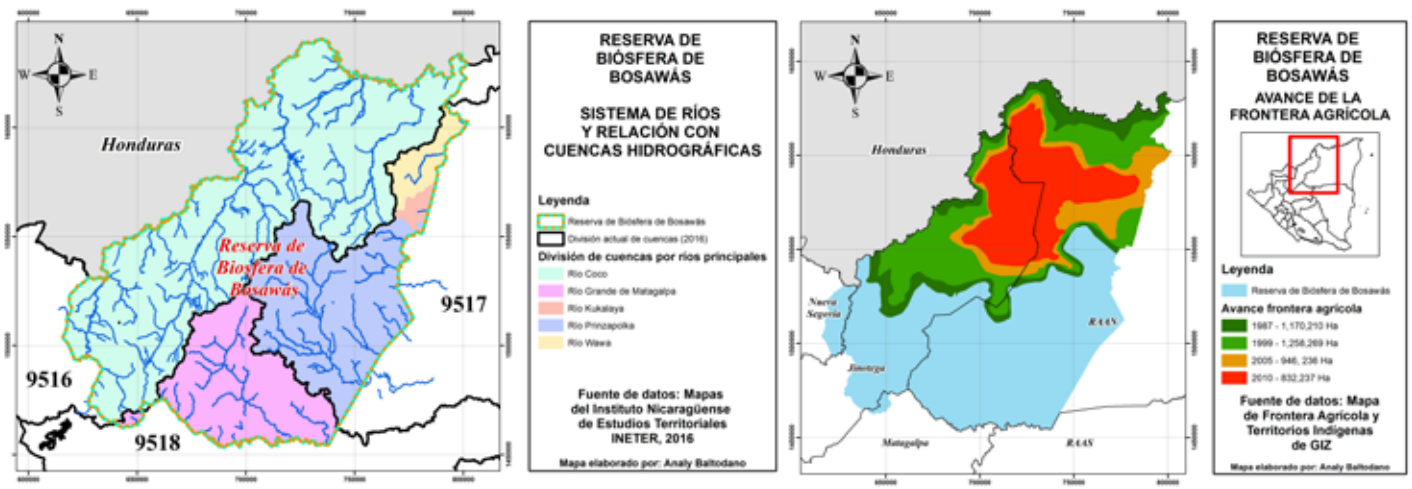
Se presenta un aumento significativo en área de pastizales (en 1983 de 26,464.45 km^2 pasan en 2015 a 45,730 km^2) de un total de 19,265.55 km^2; de igual manera, en los cultivos (perennes y anuales) pasa de 5717 km^2 en 1983 a 7643 km^2 en 2015 con un aumento en área total de 1926 km^2. Como consecuencia, estos cambios han generado una disminución importante en las áreas forestales pasando de 82,147 km^2 en 1983 a 51,517 km^2 en 2015, con una pérdida de cobertura del área forestal en tres décadas de 30,630.16 km^2.

Las consecuencias de la deforestación traen consigo una desestabilización de los sistemas hidrológicos, afectando la calidad de agua en los ríos, lagos, humedales y lagunas costeras.

Los efectos no se observan solamente en el sistema hidrológico interior, sino también pueden provocar impactos en la calidad de agua en las áreas costeras y afectar a la industria pesquera, llevando a una reducción de la biodiversidad marina y, por tanto, resultan cambios generalizados en la calidad de agua en zonas costeras.

Nicaragua tiene el compromiso, como iniciativa regional latinoamericana y del Caribe, de reforestar 2.8 millones de hectáreas en territorio nacional hasta 2020 bajo la iniciativa 20x20 del Instituto Mundial de Recursos (World Resources Institute), El Instituto Nacional Forestal de Nicaragua (INAFOR) ha organizado cruzadas de reforestación en los últimos años; en estas campañas se ha contado con viveros con especies como cedro macho (*Hye-*

Figura 7a. Sistema de Ríos en Cuencas y Figura 7b. Mapa de la Deforestación de la Reserva de la Biosfera de Bosawas (1987, 1999, 2005, 2010)



Fuente; elaborado por A. Baltodano, 2018.

ronyma clusioides), teca (*Tectona grandis*) y eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis*), entre otras, con el propósito de reforestar las zonas con mayores problemáticas. La política de reforestar debería tomar en cuenta la situación de los recursos hídricos en la zona y las necesidades implicadas para desarrollar una gestión integrada de las cuencas hidrográficas, así como la geología y características del suelo. Es importante notar que no se recomienda reforestar exclusivamente con árboles que crecen rápido, ya que puede tener efectos adversos debido a que necesitan más agua para su crecimiento y, por tanto, pueden afectar el régimen de caudal ecológico en los ríos y tributarios.

En Nicaragua existen 2 243 245 ha de áreas bosques que corresponden a las tierras bajas y altas de bosques húmedos, a los cuales predominantemente se les clasifica colectivamente como Bosques Siempreverdes Latifoliados, ya sea de tierras bajas (0-600 msnm), submontano o montano. Estas áreas de bosque húmedo corresponden aproximadamente a 17% del área total de la república (MARENA, 2010) y, a pesar de ser en parte áreas protegidas, han sido expuestas a la misma deforestación. Los bosques tropicales húmedos, más que recibir un régimen elevado de precipitación, tienen características especiales en relación con el agua y su calidad; pueden prevenir los procesos de sedimentación en una cuenca si el sustrato geológico lo permite, proveen un ambiente húmedo para mantener una biodiversidad alta y mantienen una intensa filtración del agua para la recarga hacia las aguas subterráneas que, a la vez, garantizan caudales básicos en los ríos de la cuenca. Por lo tanto, la deforestación de bosques tropicales húmedos significa una pérdida y/o impacto intensivo en cuanto a estas propiedades para el recurso agua. La **Figura 7** muestra el sistema hidrológico en la Reserva de la Biosfera de Bosawas, bosque tropical y mayor reserva forestal de Centroamérica (19,926km^2), que es el más grande de Centroamérica, y su deforestación en las últimas tres décadas.

Ejemplo de sedimentación en lagunas costeras

Una de las **Lagunas Costeras** más importantes en Nicaragua es la Bahía de Bluefields en la Costa Caribe de Nicaragua, donde está ubicada la ciudad capital de la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS). La Bahía tiene un área de aproximadamente 10 400km^2 y funciona actualmente como un puerto protegido debido a su forma; sin embargo, su uso para transporte ha estado bajo amenaza continua por la sedimentación intensa que originan los ríos que en ella desembocan, entre ellos, Río Escondido, el río más grande que aporta un gran volumen de agua dulce y sedimentos en suspensión (11 641 millones de m^3 de sedimentos anualmente) (PARH, 1996) desde su cuenca (superficie de 11 517km^2). En un estudio en 2009, la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) aplicó radioisótopos para determinar la tasa de sedimentación en los últimos 100 años en perfiles de sedimentos de la Bahía de Bluefields usando la metodología de datación por ^{210}Plomo. Los resultados (Martínez *et al*., 2014) indicaban un aumento en la acumulación de sedimentos desde la década de los 60, que causaron grandes cambios en la calidad de agua de la laguna, lo cual se puede explicar por actividades antrópicas de cambio de uso de suelo como deforestación, aumento en la frontera agrícola, incendio de bosques y un aumento en la población de Bluefields. El mapa de uso de suelo (**Figura 8a**) de 2002 indica que 77% está dedicado a pastizales lo que incide sobre las Tasas de Acumulación de sedimentos en la Bahía de Bluefields. Además, frecuentes eventos extremos climáticos como huracanes causaron una mayor vulnerabilidad de los suelos y aumentaron su susceptibilidad a la erosión y sedimentación hacia los ríos (**Figura 8b**, Río Escondido).

Calidad de aguas subterráneas

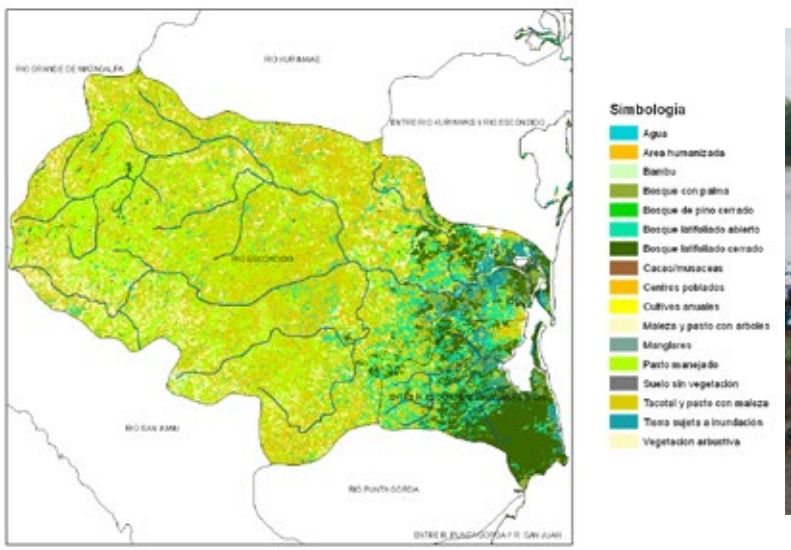
Actualmente, las aguas subterráneas son la fuente principal para agua potable en Nicaragua. El 68% de las fuentes de agua utilizadas para asegurar el suministro y consumo humano de agua en las zonas urbanas de Nicaragua es de origen subterráneo y 70% del total para uso doméstico (IANAS, 2015). Por ejemplo, de los 200 sistemas de abastecimiento de agua potable existentes en 2007, 136 son de aguas subterráneas (ENACAL, 2008).

Esta tendencia podría cambiarse en las próximas décadas con un aumento en el uso del agua del Lago Cocibolca y otras fuentes de aguas superficiales para abastecimiento de poblaciones en el futuro. Ya existen sistemas nuevos de abastecimiento en construcción en el marco del Proyecto PISASH, por ejemplo, en la Costa Caribe de Nicaragua don-

de usarán el agua de los ríos Kukra para mejorar el sistema de agua potable en Bluefields y un nuevo sistema bajo construcción en Bilwi en la RAAN usando las aguas del río Likus como fuente de abastecimiento. También en las ciudades de Acoyapa y Santo Tomás se han mejorado ambos sistemas de agua potable, tomando como nueva fuente de abastecimiento el río Mico. (comunicación personal del Lic. Miguel Torres).

Desde los años 90 existen estudios sobre la calidad de aguas subterráneas (Briemberg, 1994) enfocados en la contaminación por plaguicidas. Con el establecimiento de una capacidad institucional para la determinación de la calidad de agua a nivel universitario –Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN), Instituto de Capacitación, Investigación y Desarrollo Ambiental (CIDEA-UCA) y UNAN-León– existe más

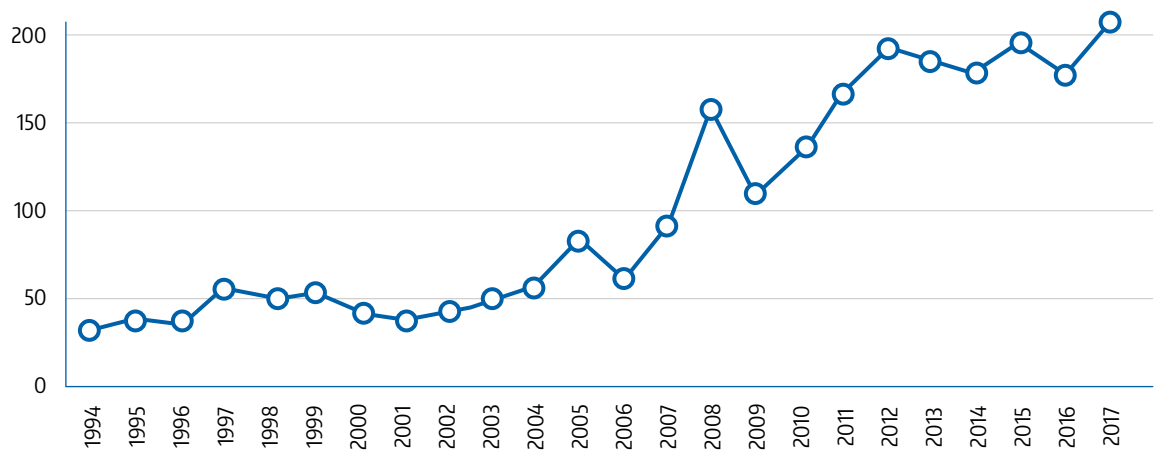
Figura 8a. Mapa de vegetación y uso de la tierra en 2002 y Figura 8b) Río Escondido que muestra alto grado de turbidez del agua que descarga a la Bahía de Bluefields



Fuente: MARENA, 2002.

Foto: Svetlana Dumailo

Figura 9. Desarrollo de importaciones CIF de fertilizantes y agroquímicos desde 1994 a 2017



Fuente: Banco Central de Nicaragua, Importaciones CIF de bienes intermedios.

investigación y monitoreo sobre la calidad de agua, y de las aguas subterráneas también en los laboratorios de ENACAL.

El uso masivo de agroquímicos persistentes del grupo organoclorados inició en los años 50 sin ninguna provisión de manejo en el cultivo de algodón principalmente en el occidente de Nicaragua, departamento de León y Chinandega. El acuífero es el más importante reservorio de aguas subterráneas en el país y está constituido por tres unidades hidrogeológicas, arriba aluvial no confinado seguido por un acuífero volcánico con un basamento ignimbrítico. Los suelos están dedicados a la agricultura y en parte bajo riego que tiene su origen en el acuífero somero no confinado arriba, no más profundo de 70 metros y, por lo tanto, expuesto a contaminantes usados en la agricultura a mediano plazo.

En un trabajo de tesis de maestría (Delgado, 2003) se encontró evidencia de presencia de agroquímicos persistentes (organoclorados) a 12 metros debido a la aplicación de plaguicidas en la cultivación de algodón. Un problema de la zona es la existencia en abundancia de pozos excavados que no tienen medidas de protección ninguna; esto no limita el transporte de plaguicidas en los suelos alrededor de los pozos o la contaminación del agua del pozo por acción del viento. Además, en un estudio (Moncrieff *et al*., 2008) se desarrolló un modelo conceptual del transporte de plaguicidas donde se concluyó que la distribución y concentración de plaguicidas en el acuífero podría ser afectado por un aumento en la extracción de aguas subterráneas de la zona.

Un estudio en el departamento de Chinandega (Montenegro *et al*., 2009), en localidades de antiguas plantaciones bananeras, mostró la presencia de Nemagon (DBCP) y otros organoclorados en el agua de 15 pozos de abastecimiento. Aunque la aplicación de Nemagon se aplicó hace 40 años, DBCP puede persistir hasta 140 años debido a su baja tasa de hidrólisis.

Un estudio sobre calidad del agua de consumo en comunidades del sector rural noreste del municipio de León también detectó agroquímicos, específicamente Clorpirifos y DDT, en pozos (González *et al*., 2007).

Salinización

El peligro de intrusión salina a las aguas subterráneas en las dos costas de Nicaragua es una amenaza muy seria. A lo largo de la costa del Pacífico podría ocurrir especialmente en zonas donde existe la fuerte extracción de agua subterránea para riego. En algunas evaluaciones del sistema de flujo de aguas subterráneas en la Cuenca del Pacífico (9533), León-Chinandega, se han observado problemas de sobreexplotación de aguas subterráneas que podrían afectar más la calidad de las aguas subterráneas (Vammen y Hurtado, 2010). Actualmente se están construyendo nuevos sistemas de agua potable con origen en aguas superficiales en la Costa Caribe de Nicaragua en Bilwi y Bluefields, ya que se habían observado muchos pozos excavados con agua salina.

Contaminantes Tóxicos - Agroquímicos y Metálicos

Agroquímicos

Nicaragua es un país predominantemente agropecuario. Según el CEPAL, en el año 2015 el sector agropecuario representó 14.3% del PIB nacional e involucra 33.5% de la mano de obra del país. Por lo tanto, la agricultura tiene un peso muy importante en la economía nacional. Los productores nacionales utilizan los pesticidas para el control de las plagas para asegurar sus rendimientos productivos.

Nicaragua inicia la importación y uso de pesticidas en la década de 1950, principalmente para su uso en el cultivo del algodón; uno de los primeros pesticidas en ser introducidos al país fue el Metil Paration, pero poco a poco fueron introducidos la mayor parte de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), como el DDT, toxafeno y otros; no solamente los productores de algodón utilizaron estos químicos, sino también otros productores como los de café, banano, hortalizas, arroz, frijol y maíz (PNUD/MARENA, 2004)

Entre 2004 y 2009, Nicaragua importó 16,290,666.45 kilogramos de plaguicidas, identificándose un total de 249 ingredientes activos; entre éstos, los principales que se observaron fueron tres herbicidas (2,4-D, Glifosato, Paraquat) y tres fungicidas (Clorotalonil, Mancozeb y Carbendazim) (REPCAR, 2010).

En 2016, el principal comprador de agroquímicos según volumen importado de insecticidas, herbicidas y fungicidas en Centroamérica fue Panamá con 34 mil toneladas, seguido de Costa Rica con 32

mil toneladas; Guatemala, con 28 mil toneladas; Nicaragua, con 23 mil toneladas; Honduras con 21 mil toneladas y El Salvador con 13 mil toneladas. Como se ha mostrado en la Figura 9, las importaciones CIF de fertilizantes y agroquímico en Nicaragua han aumentado aproximadamente cuatro veces en los últimos 23 años.

El uso inadecuado e irracional de estas sustancias químicas ha ocasionado impactos a la salud pública y el medio ambiente en Nicaragua. En el período 2004-2009 se registraron en promedio por año 1,361 casos de intoxicación por pesticidas y 183 defunciones en promedio por año. Lamentablemente, debido a malas prácticas de preparación, uso y almacenamiento de estas sustancias químicas, 10% de las intoxicaciones registradas en ese periodo correspondieron a niños menores de 15 años. Las defunciones relacionadas con intoxicaciones por plaguicidas fueron causadas por los productos del Paraquat (57%), Fosfina (36%), Clorpirifos y Metomil (MINSA, 2001). En estudios realizados en la zona del occidente de Nicaragua se ha demostrado la contaminación en sangre humana, leche materna, leche de vaca, alimentos en general, agua y sedimentos con plaguicidas organoclorados, alfa-BHC, pp-DDE, pp-DDT, Clordano, Toxafeno (REPCAR, 2010).

Residuos de estos contaminantes han sido transportados principalmente por escorrentía a través de la cuenca de drenaje, contaminando los recursos hídricos superficiales, subterráneos, zonas costeras y marinas tanto del Pacífico como del Caribe nicaragüense. Diferentes estudios muestran la presencia de residuos de insecticidas organoclorados, organofosforados, carbamatos y herbicidas triazinas en ríos, acuíferos y áreas costeras de la zona del Pacífico y Caribe de Nicaragua (Cuadra y Vammen, 2010; Delgado, 2003; Montenegro *et al*., 2009).

Metales - mercurio y arsénico

Mercurio es uno de los contaminantes metálicos con más impacto en el ambiente y la salud humana mundialmente. En Nicaragua se ha estudiado y encontrado varias fuentes de mercurio que han contaminado algunos de los recursos hídricos y se destacan tres de ellas: 1) por la minería artesanal de oro en diferentes ríos del país, 2) por procesos industriales que vertieron sus efluentes al Lago Xolotlán, y 3) por fuentes geotermales naturales debido al volcanismo alrededor del Lago Xolotán.

El estudio Contaminación Ambiental por Mercurio en el Lago Xolotlán, Nicaragua, en Relación con la Evaluación de Riesgo a la Salud Humana mostró resultados que indicaron niveles de contaminación por mercurio en los suelos y agua subterránea, en el terreno de las instalaciones de la fábrica en mención y la zona circundante, específicamente en el fondo de un cauce usado para verter los desechos líquidos al lago (Peña *et al*., 2009).

El mercurio ha sido usado en la minería industrial de oro y actividades artesanales en el área central de Nicaragua, departamento de Chontales, por ejemplo, en Santo Domingo y La Libertad donde se han encontrado concentraciones en el agua del río Sucio arriba de lo permitido para consumo humano y en los sedimentos (André *et al*., 1997). Un estudio (Picado *et al.,* 2007) del análisis del riesgo para la salud humana y organismos acuáticos del río Sucio en el municipio de Santo Domingo tomó en cuenta las concentraciones de mercurio encontrado en el agua (0,42-0,63ug.l^{-1}) y sedimentos (1,14^{-1} – 1,07ug.g^{-1}) en algunos puntos aguas debajo de un lugar de extracción, para llegar a la conclusión de riesgo más alto para la salud humana seguido por organismos acuáticos.

De acuerdo con Altamirano, M. y Bundschuh, J. (2009), uno de los problemas ambientales relacionado con la calidad de agua en Nicaragua es la concentración natural de *arsénico* en algunas áreas, como las encontradas en las regiones noroeste y suroeste de Nicaragua por la disolución del medio geológico próximas a estructuras mineralizadas, alteraciones por procesos hidrotermales y principalmente a estructuras tectónicas paralelas a la depresión de Nicaragua, lo cual llega a las aguas subterráneas a través de fallas y fracturas. Esto se tratará con mayor detalle en relación con la salud más adelante.

Tratamiento de aguas residuales en Nicaragua

"Al mismo tiempo que la demanda para agua crece en la agricultura, industria y uso doméstico, se observa una aceleración en el proceso de la polución de agua y la degradación de ecosistemas acuáticos debido al incremento en los volúmenes de aguas residuales no tratados" (cita del Secretario General de las Naciones Unidas, Antonio Guterres, United Nations, 2018).

Figura 10. Planta de Tratamiento de Managua

Fuente: Estudiantes en visita a la PTAR.

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo Humano de Nicaragua (2012) la cobertura de saneamiento en las zonas urbanas era de 35.6% (medida como conexiones al servicio de alcantarillada sanitaria) y en las áreas rurales de 42.6%; y el Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR, 2018) informa que la cobertura de saneamiento mejorado es de 42,93% en zonas rurales; saneamiento mejorado se define como un sistema que garantiza no tener contacto de los seres humanos con excretas humanas.

Según el Informe de Progreso para Agua Potable, Saneamiento e Higiene 2017 de WHO y UNICEF (2017), Nicaragua ha subido levemente el porcentaje de tratamiento de aguas residuales en toda la nación de 5% en 2000 a 8% en 2015 y para los centros urbanos se indicó un incremento de 10 a 13% en el mismo periodo. Este mismo informe indica que las conexiones a alcantarillado han aumentado de 28% en 2000 a 39% en 2015 en los centros urbanos.

Actualmente existe una cobertura de saneamiento en 30 municipios donde se cuenta con Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) de 51%, con un caudal generado de 366 000 m^3/d. Es importante mencionar que aun estos sistemas afectan la calidad de agua de los cuerpos de aguas receptores debido al incremento de los nutrientes como nitrógeno y fósforo, sedimentos, organismos patógenos y la carga orgánica que se descargan por medio de los efluentes de las PTAR.

El porcentaje de la población que aún practica defecación al aire libre ha sido reducido en algo más que la mitad de 16% en 2000 a 7% en 2015, donde prácticamente se ha podido llegar a solamente 1% en los centros urbanos, pero en lo rural existe 15% de la población donde aún practican defecación al aire libre (WHO y UNICEF, 2017).

ENACAL ha definido sus fines como "brindar el servicio de agua potable, recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales a toda la población urbana de Nicaragua". Por sus gestiones con diferentes países involucrados en la Cooperación Internacional en el sector de agua y saneamiento, se ha progresado en los últimos 10 años en la instalación y modernización de las PTAR, la mejora de su gestión operacional y la recolección de aguas residuales en alcantarillado sanitario, principalmente en las zonas urbanas. Ha concentrado sus gestiones en saneamiento en zonas urbanas, ya que 56% de la población vive en ciudades y, de ella, 86% de la población urbana vive en 46 ciudades de más de 10 mil habitantes (INIDE, 2018). Se ha puesto la meta de acelerar la cobertura del servicio de saneamiento para mejorar los niveles de salud de la población (ENACAL, 2014).

Managua y otros municipios

En 2009 se instaló una PTAR en la ciudad capital de Managua con una capacidad diseñada de 182 000 m^3/d, que procesa las aguas domésticas de múltiples sectores de Managua (**Figura 10**). La Planta consiste en un sistema de rejillas mecánicas, desarenadores con aireación, sedimentadores primarios de placas inclinadas, filtros y sedimentadores secundarios antes de su disposición final en el Lago Xolotlán (Managua) por medio de una tube-

ría sumergida. Actualmente la PTAR está conectada a 75% del alcantarillado sanitario de la zona urbana de Managua (La Prensa, entrevista a Marvin Chamorro, representante de KFW en Nicaragua, 05/07/2017).

La Planta ha tenido el objetivo de aportar a la restauración del lago y hasta la fecha ha logrado un nivel que ha permitido instalar y expandir centros turísticos como el puerto Salvador Allende y otros, que facilitan la recreación de la población capitalina y turistas nacionales e internacionales.

En los municipios periurbanos de Managua, como Ciudad Sandino, se tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales, el cual sólo le da cobertura a 49 000 de los 108 000 habitantes. A pesar del tratamiento de las aguas domésticas de los habitantes de Ciudad Sandino, las cuales son vertidas en un cauce natural que tiene como disposición final el Lago Xolotlán, existen zonas francas como Alpha Textil y Saratoga que vierten sus aguas residuales y pluviales a este mismo cauce. En los municipios de Tipitapa y San Rafael del Sur, el tratamiento de sus aguas residuales consiste en lagunas de estabilización, las cuales no alcanzan las remociones normadas debido a que funcionan con caudales y cargas orgánicas mucho mayores que para las que fueron diseñadas.

Programa Integral Sectorial de Agua y Saneamiento Humano (PISASH)

Actualmente existen problemas para alcanzar los estándares de calidad de los parámetros normados en las áreas urbanas que tienen sistemas de tratamiento de aguas residuales, sobre todo aquellos sistemas con lagunas de estabilización que representan un poco más del 55% de los sistemas instalados en las zonas urbanas.

El Programa Integral Sectorial de Agua y Saneamiento Humano (PISASH) ha promovido desde el año 2014 programas de agua y saneamiento ejecutado por la ENACAL y con un presupuesto de 405 millones de dólares en su Fase I (2014 a 2021), que incluye recursos mixtos de la Unión Europea, del Programa de conversión de Deuda España-Nicaragua y de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) en cooperación con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) y el Banco Europeo de Inversiones (BEI). El Programa tiene planificada la instalación o renovación de Plantas de Tratamiento y Sistemas de Alcantarillado en 14 centros urbanos con poblaciones mayores a 5000 habitantes donde existe una baja cobertura o donde había "muy poca inversión pública destinada a servicios básicos para garantizar el derecho humano al agua como en las ciudades en la región Caribe y Central del país", donde se espera un desarrollo económico e igualmente en ciudades fronterizas que no han sido priorizadas en el pasado (ENACAL, 2014).

Actualmente se está planificando una segunda fase del programa en agua potable y saneamiento para 22 ciudades más ubicadas en todas las zonas de Nicaragua (Santo Domingo, Ocotal, Jinotepe, Isla de Ometepe, León, Tipitapa, Waspam, El Viejo, Mateare, Chichigalpa, Camoapa, San Jorge, Buenos Aires, Somotillo, El Sauce, Villanueva, Telica, La Paz Centro, Nagarote, San Benito, San Rafael del Sur y Chinandega).

Caso especial de Masaya

La ciudad de **Masaya** –con una población urbana de 127 903 habitantes en 2016 (INIDE, 2018)– es la cuarta ciudad más grande de Nicaragua, cuenta con el apoyo de AECID a través del Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS) y con un financiamiento de 19 millones de dólares con el objetivo principal de incrementar la cobertura del servicio de alcantarillado con 6274 conexiones nuevas, mejoramiento de la disposición de las aguas servidas con rehabilitación y ampliación de la infraestructura de tratamiento. Importante es la eliminación de las descargas a la Laguna Cratérica de Masaya que ha causado fuertes impactos en su calidad de agua por algunas décadas; se planifica desviar el efluente del nuevo sistema de tratamiento para ser conducidas a un cauce natural al noroeste de la ciudad en el sector conocido como Bosco Monge. Se finalizará el proyecto y estos cambios en el año 2020 según autoridades de AECID.

Caso especial de Granada

En julio de 2017 se inauguró el proyecto de agua potable y alcantarillado en la ciudad de **Granada** (población urbana 101 298, séptima más grande del país), una de las ciudades principales de Nicaragua ubicada a la orilla del Lago Cocibolca. Las aguas residuales de la ciudad han impactado la calidad de

agua del lago por la descarga de aguas grises e industriales por medio de un sistema de cauces o arroyos urbanos (CIRA/UNAN, 1997) por muchas décadas. Este proyecto incluyó la ampliación de la red de alcantarillado, una estación de bombeo y la rehabilitación de una planta de tratamiento que procesa a diario de 6 mil a 6 mil 200 m^3. Todo fue posible gracias a los fondos de cooperación de Alemania (27 millones de euros), Japón (4 millones de euros) y el aporte propio de Nicaragua (>2 millones de euros). Este proyecto ha reducido considerablemente la contaminación del Lago Cocibolca por los desechos líquidos de la ciudad, pero aún falta mejorar el sistema pluvial de la ciudad.

Vale la pena destacar la importancia de construir *sistemas de alcantarillados sanitarios combinado con plantas de tratamiento eficaces* en zonas urbanas, ya que en la estación lluviosa se ha observado la tendencia de las aguas pluviales que se van mezclando con las residuales que saturan las letrinas o fosas sépticas y luego escurren a espacios donde pueden causar problemas de salud para la población; también es conocido que "la falta de hermeticidad de las letrinas contamina gravemente el acuífero subyacente en zonas urbanas, donde la concentración de la infiltración es grande" (POG, 2014). Se enfatiza que en muchas ciudades de Nicaragua donde existía tratamiento de aguas residuales, funcionaron adecuadamente muy poco. La modernización y renovación del sistema de tratamiento, con la ampliación de la cobertura y la rehabilitación o construcción de nuevas plantas de tratamiento eficaces, es un paso adelante para asegurar un **tratamiento efectivo** en las zonas urbanas de Nicaragua.

El Proyecto PISASH y otras iniciativas de saneamiento de la ENACAL tienen una estrategia más completa que garantiza la gestión y construcción de las infraestructuras, la calidad y continuidad de la operación en conjuntos con el mantenimiento de la calidad del agua en relación con su funcionamiento y la disposición final, en otras palabras, suplir agua de calidad para consumo humano, tratamiento adecuado de aguas residuales y la disposición final sin afectar la calidad de agua de los cuerpos o áreas receptores (POG, 2014). Es importante evaluar y mantener toda la cadena para poder a garantizar la calidad adecuada de todas las fuentes del agua.

El Decreto 21-2017 (*La Gaceta* No. 229, del 30 de Noviembre de 2017) promulga el Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales, que reemplazó al antiguo Decreto 33-95, Disposiciones para el Control Contaminación Provenientes Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias de Nicaragua (*La Gaceta,* 1995), igualmente la norma técnica NTON 05 027-05, Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para Regular Los Sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales y su Reúso (*La Gaceta,* 2006).

Aguas residuales en zonas rurales

En las zonas rurales, sobre todo de comunidades dispersas, que no poseen alcantarillado sanitario, se utilizan soluciones individuales como letrinas o fosas sépticas. Las aguas grises son vertidas al suelo directamente o corren sobre las calles hasta llegar a un cuerpo de agua o un cauce natural. En lugares donde no se cuenta con letrinas, los pobladores aún practican *fecalismo al aire libre.*

El Gobierno de Nicaragua con fondos del Banco Mundial y del BCIE, bajo el modelo de Alianzas, tiene proyectado invertir 160 millones de dólares en programas de agua y saneamiento integrados en las zonas rurales del país, en comunidades de la Costa Atlántica y la Región Central de Nicaragua.

Una de las metas del Objetivo 6 de los ODS es la 6.2: "lograr el acceso a servicios de saneamiento o higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre prestando especial atención a las necesidades de las mujeres, de las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad" (UN, 2018). Tomando en cuenta que Nicaragua aún tiene 15% de la población rural que practica defecación al aire libre (WHO y UNICEF, 2017) es urgente diseñar planes para establecer saneamiento mejorado en las comunidades rurales.

Indudablemente, los proyectos nuevos contribuirán a mejorar la salud de la población a través del incremento y mejoras en la cobertura de agua potable y saneamiento que *garanticen la calidad de agua.*

Recolección de desechos sólidos y su tratamiento

La falta de recolección eficiente y adecuada de los desechos sólidos en Nicaragua aún es un gran problema y afecta la calidad de agua, ya que la basura que no se recolecta va a dar a cauces urbanos y arroyos naturales para luego llegar a cuerpos de

agua, afectando posibles fuentes de agua. "Cada día, en promedio, cada habitante de la ciudad de Managua produce 0.7 Kg. de residuos sólidos, mientras que los pobladores del resto del país, en promedio, generan 0.50 Kg./día de residuos. Basándose en las cifras anteriores, los expertos estiman que la generación total de residuos sólidos a nivel nacional alcanza la suma de 3,500 ton/día, lo que equivale a una producción anual de 1,2 millones de toneladas. Sólo cuatro de cada diez hogares eliminan la basura a través de un camión recolector, o depositándola en un basurero o en un contenedor autorizado. Esto quiere decir que la mayoría de los hogares –56.6%– la quema, la entierra, la arroja a un predio vacío o, bien, la lanza a un río o quebrada" (INIDE, 2005). La realización de la recolección de residuos sólidos existe en 75 de los 153 municipios en un sistema de recolección administrado por las alcaldías de los municipios. De los residuos recolectados en el país, 94% es vertido en depósitos o botaderos a cielo abierto o son quemados para reducir su volumen. No existen aún instalaciones especiales para el tratamiento especializado de residuos hospitalarios e industriales tóxicos o peligrosos, pero hay algunas empresas que han iniciado servicios para el manejo de estos desechos especiales. Vertederos municipales reciben desechos sólidos industriales y domésticos que no han sido clasificados, donde podrían afectar las aguas subterráneas o llegar al agua de escurrimiento para luego verterse en aguas superficiales.

Aunque existen tres normas técnicas para regular el diseño de rellenos sanitarios (*Gaceta*, 2002) –NTON 05 013-01: Norma Técnica para el Control Ambiental de los Rellenos Sanitarios para Desechos Sólidos no-peligrosos; NTON 05 014-01: Norma Técnica Ambiental Obligatoria Nicaragüense para el Manejo, Tratamiento y Disposición final de los

Box 1. Un Ejemplo de Reúso de Aguas Residuales de un Rastro Municipal

Uso de biodigestión anaerobia para el tratamiento de aguas residuales en el Rastro Municipal de León, Nicaragua

La digestión anaerobia permite no sólo tratar el agua residual con materia orgánica, sino también aprovechar la capacidad energética del biogás y los residuos como biol (fertilizante natural). El biodigestor utiliza la digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de las bacterias en la materia orgánica, transformándola en metano, aguas tratadas y fertilizante orgánico. El metano puede ser utilizado como combustible en la cocina o el horno.

La institución BORDA y la Universidad Politécnica de La Salle (ULSA) han logrado el manejo sostenible de las aguas residuales y residuos sólidos del Rastro Municipal de León, por medio de un tratamiento de aguas descentralizado (no manejado por la institución nacional de tratamiento) de aguas residuales (DEWATS), reutilizándolas en humedales, además de los lodos.

Con este tratamiento se ayuda a proteger el Río Chiquito, que atraviesa la ciudad de León, al que originalmente el Rastro estaba vertiendo las aguas residuales. Generaba olor fétido que perjudica a la población y afectaba las pilas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad.

El sistema de tratamiento tiene dos vertientes de uso: el tratamiento de agua para uso agrícola en huertos urbanos y la obtención del biogás para uso en el futuro horno para incineración de reses.

1. Ganado para sacrificio

2. Lavado de restos de la sala de sacrificio

3.Biodigestor reactor biogás

4. Biodigestor tratamiento aguas residuales en 10 celdas anaeróbicas

5. Riego con agua tratada

Desechos Sólidos no-peligrosos; y NTON 05 015-02: Norma Técnica para el Manejo y Eliminación de Residuos sólidos Peligrosos (*Gaceta*, 2002)– hay muy pocos rellenos sanitarios en Nicaragua. Actualmente se ha podido constatar que existen solamente seis municipios que han establecido Rellenos Sanitarios (Managua, La Libertad, Ciudad Sandino, Bluefields, Boaco y Santo Domingo) y que mantienen su funcionamiento. En su mayoría están asociados a proyectos de reciclaje como el de La Chureca (Relleno Sanitario de Managua). En otras cuatro ciudades existen proyectos de reciclaje de los desechos (Juigalpa, Matagalpa, Ocotal y Granada).

La buena gestión de los desechos humanos trae beneficios a la sociedad para la salud pública, así como al ambiente. Se ha estimado que el retorno económico, para cada US$ gastado en saneamiento, retorna a la sociedad 5.5 US$ (Hutton, 2004). Existe interés de otros países por trasladar los materiales reciclables como papel, chatarra y plástico; y a nivel nacional algunas empresas emprendedoras que trabajan con plástico, papel y vidrio reciclado también están interesadas (Styles, 2015).

Reúso de aguas residuales

El reúso del agua no es una práctica común en Nicaragua debido a que la calidad de los vertidos todavía no cumple con los valores normados, lo cual imposibilita su uso en actividades como irrigación, limpieza y acuacultura. Otro factor es que actualmente, aun la disposición final de casi todos los vertidos de los sistemas que existen en el país, finalmente se vierten a un cuerpo receptor de agua superficial como ha sido ilustrado anteriormente en el caso de la Laguna de Masaya.

Un ejemplo de reúso industrial ocurre en el Ingenio Azucarero San Antonio, el cual usa sus efluentes previamente tratados para riego de las plantaciones de caña de azúcar en un sistema de fertirriego (SER, 2018) y ha sido adaptado por otros azucareros en Nicaragua. Existe una Norma Especial, Norma Técnica para el Uso de las Aguas Residuales de los Efluentes Provenientes de la Industria Azucarera y Destilerías de Alcohol para el Riego de las Plantaciones de la Caña de Azúcar (Gaceta, 2010).

Es importante avanzar con más prácticas de reúso del agua en Nicaragua, ya que los impactos en la calidad de agua limitan su acceso para la población y las aguas residuales de diferentes calidades y características podrían ser usadas bajo control en la agricultura y otras actividades industriales, para enfrentar tiempos de seguía en el corredor seco de Nicaragua y otros impactos que limitan el agua. Más bien, las aguas residuales deberían ser vistas como una fuente sostenible de agua, energía, nutrientes y otros subproductos, en vez de una carga que afecta la calidad de agua. Para seleccionar el tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales que podría proveer más beneficios, depende del sitio y es recomendable que los países buscan desarrollar la capacidad para evaluar estas oportunidades (UN Water, 2017).

En el **Box 1** se ilustra un ejemplo de reúso de aguas residuales de un rastro municipal en León, Nicaragua, con reúso de dos vías como fertilizante en huertos urbanos y para la obtención del biogás que se usa para incineración en el mismo rastro.

La Meta 6.3 de los ODS para lograr garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento aborda el Tratamiento de Aguas Residuales de la siguiente manera: **Mejorar la calidad del agua** reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, **reduciendo a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentado considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.** Se remarca que en Nicaragua sería importante darle prioridad en el territorio nacional, urbano y rural.

3. Calidad de agua y salud

En esta sección se pretende documentar dos problemas específicos de salud relacionados con la calidad de agua en Nicaragua: uno por contaminación bacteriana en aguas superficiales y, el otro, por sustancias tóxicas de origen natural en aguas subterráneas, particularmente, por arsénico.

Impacto en la salud por la contaminación natural del agua potable por arsénico

En Nicaragua, uno de los problemas de gran preocupación es la calidad de agua asociada a la salud debido a altas concentraciones naturales de arsénico (As) que afectan la calidad de aguas subterrá-

neas y, en consecuencia, la salud de las poblaciones que la utilizan como agua de consumo. Existen algunos estudios donde se han encontrado aguas subterráneas con problemas de arsénico ubicadas principalmente en las regiones noroeste y suroeste de Nicaragua, provocado por vulcanismo extinto, principalmente donde se encuentran estructuras tectónicas paralelas a la depresión de Nicaragua (Altamirano *et al*., 2009).

El arsénico está clasificado en las Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano de la OMS (2018) como sustancia de origen natural cuya presencia en el agua de consumo humano puede afectar la salud y se le ha asignado un valor de referencia señalado como límite máximo admisible de 10µg/l en aguas de consumo humano. Nicaragua usa como referencia en el monitoreo ambiental del arsénico las Normas CAPRE (1993) y las Guías de la OMS para el Arsénico (IV Edición). "Por lo general, las sustancias químicas de mayor preocupación para la salud en algunas aguas naturales son el exceso de fluoruro, nitrato/nitrito y arsénico presentes de forma naturales" (OMS, 2018).

En mayo de 1996 fue detectada por primera vez en el país la contaminación del agua subterránea con arsénico en un pozo artesiano comunitario de la comunidad El Zapote, en el valle de Sébaco, al norte del país, que contenía 1320 µg de As total/l de agua (Gómez, 2011).

Posteriormente a este hallazgo, diferentes instituciones nacionales e internacionales realizaron nuevos estudios que confirmaron la extensión del problema en las comunidades vecinas y en otras regiones del país. De acuerdo con los resultados de dichos estudios, se detectó un total de 29 municipios donde algunas fuentes de agua contenían arsénico en concentraciones superiores a la norma nacional de 10 µg de As/l de agua (Gómez, 2011; Barragne, 2004; Altamirano *et al*., 2009).

Considerando los resultados brindados por los diferentes estudios realizados, se han identificados fuentes de agua contaminadas por arsénico en nueve (52.9%) de los 15 departamentos y dos regiones autónomas en que se divide el país. La mayoría de los municipios afectados se localiza en la región norte-central del país (Departamentos de Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Matagalpa), seguido por los municipios ubicados en la Región Occidental del país (León, Chinandega) (CIEMA, 2009).

Según especialistas en el tema, se considera que la identificación de nuevas fuentes de agua de consumo humano contaminadas por arsénico en Nicaragua podría ampliarse en la medida que avancen los estudios de la contaminación natural del agua por este elemento. Debido a esta amplia distribución del arsénico como contaminante natural del agua, en la actualidad se considera necesario introducir el análisis permanente y de rutina de este tóxico en las fuentes de agua de consumo humano en Nicaragua, a fin de garantizar agua segura a las poblaciones expuestas y contribuir a mejorar sus niveles de salud y calidad de vida. También se recomienda hacer una evaluación geológica y toxicológica de los sitios donde se planifica perforar pozos para evitar un gasto económico antes de la perforación.

Leptospirosis en Nicaragua: Enfermedad transmitida por el agua

La leptospirosis es una enfermedad bacteriana causada por *Leptospira spp*., clínicamente caracterizada por fiebre, cefalea, dolores musculares, hemorragia pulmonar, meningitis, miocarditis y uveítes (WHO, 2010). Se considera una enfermedad zoonótica de potencial epidémico que tiene un impacto significativo en salud en varias partes del mundo (MINSA, MAGFOR, UNAN León y OPS, 2012), con mayor incidencia en climas tropicales.

Los brotes de leptospirosis se presentan en personas expuestas al agua dulce de ríos, arroyos, canales o lagos contaminados por orina de animales domésticos y silvestres, tales como roedores, vacunos, equinos, porcinos y caninos (WHO, 2010). Se ha notado en los últimos años que el riesgo va en aumento en las zonas urbanas, en especial durante las lluvias torrenciales, cuando hay inundaciones (OPS, 2005). Las epidemias de leptospirosis frecuentemente se relacionan con grandes precipitaciones e inundaciones asociadas a eventos climáticos extremos.

La mayor experiencia en el manejo de casos de leptospirosis se inicia en 1995, cuando posteriormente a una tormenta tropical ocurrió una epidemia de leptospirosis, conocida en Nicaragua como fiebre de Achuapa (la ciudad donde apareció la primera vez), que para ser diagnosticada y tratada se recurrió al apoyo de México, Cuba y del Centro de Control de Enfermedades de Atlanta, Georgia. (Mo-

reno, 2012). En ese año, en el país se presentaron 2,254 casos con 48 defunciones.

A partir de esta experiencia se fortalecieron capacidades en el diagnóstico y vigilancia epidemiológica de esta enfermedad, lo que permitió enfrentar con gran éxito el segundo mayor brote registrado en 1998, que se presentó después del paso del huracán *Mitch* por el país.

En cuanto a la distribución temporal de los casos de leptospirosis en Nicaragua, a partir de la experiencia del huracán *Mitch*, se han reportado pequeños brotes con claros indicios de una alta infestación de roedores en los cultivos de arroz y otros granos básicos. En el período 2003-2006 se reportaron 273 casos positivos, sin que se presentaran defunciones por leptospirosis (MINSA, MAGFOR, UNAN León y OPS, 2012).

En el año 2007 se notificaron nuevamente tres brotes, siendo el de mayor relevancia el presentado en el mes de noviembre posterior al huracán *Félix*. En el transcurso de los años 2008 a 2010, el número de casos de leptospirosis fue similar al reportado durante el período inter-huracanes, siendo los casos mayoritariamente de procedencia rural (MINSA, MAGFOR, UNAN León y OPS, 2012).

En síntesis, se puede señalar que la leptospirosis en Nicaragua presenta un comportamiento endémico con brotes epidémicos que se presentan generalmente después de inundaciones causadas por huracanes y tormentas tropicales, lo cual está asociado a la presencia del agente etiológico en sus reservorios, a la contaminación de los cuerpos de agua y a la exposición a leptospira que por diferentes razones tiene la población, principalmente en el área rural.

4. Rol de la mujer y calidad de agua en Nicaragua

Dentro de la problemática del agua, la participación de las mujeres por lo general se ve limitada a la obtención de aquélla, enfocada a las cantidades disponibles en el hogar. Si bien las mujeres son quienes más utilizan el agua para las tareas domésticas y la familia, también se preocupan por obtener un recurso de calidad para los suyos y hoy día son las más interesadas en mejorar y ampliar sus conocimientos sobre calidad del agua para asegurar la sostenibilidad medioambiental de los sistemas de distribución manejados por los Comités de Agua Potable (CAPS) en zonas rurales o periurbanas. Asegurar la calidad de agua en la casa es parte de su rol para cuidar el bienestar de sus familias, la higiene en el hogar y la seguridad alimentaria de los suyos.

En Nicaragua, la dificultad con el recurso no sólo se limita a la cantidad, sino también a la calidad del agua. Es por lo que, en muchas partes del país, las mujeres ya están derribando barreras de género y están tomando acciones concretas para asegurar que en sus hogares llegue el agua de la mejor calidad posible. En una iniciativa promovida por la Asociación Ecología y Desarrollo (Ecodes) y el Hermanamiento León-Zaragoza en conjunto con la municipalidad de Achuapa, unas 50 mujeres están "aplicando técnicas de potabilización en la comunidad el Porvenir y el Barro, del municipio de Achuapa, departamento de León; con el respaldo de cooperantes españoles, construyeron sistemas de filtros de purificación de agua" (González, 2017). Para su construcción utilizaron piedras nativas, madera, tuberías y bidones plásticos, los pequeños filtros son de lecho mixto (varios tipos de arena con un mezclador de cloro) que aseguran eliminar bacterias patogénicas y algunos sólidos presentes en el agua de ríos y riachuelos que en esas zonas del país presentan altos niveles de sales minerales y coliformes (**Figura 11**).

Figura 11. Construcción de filtros de purificación del agua del grupo de mujeres de Achuapa

Foto de José Luis González, publicada en el Nuevo Diario, 5 julio de 2017.

Desde construir filtros hasta examinar la calidad de agua de los pozos con laboratorios portátiles, las mujeres poco a poco reducen la brecha de género en la cultura sobre el agua (Gutiérrez, 2017). Walkiria Castillo del Comité de Agua y Saneamiento del municipio de Villanueva, ubicado en el norte de Nicaragua cerca de una explotación minera de oro, está preocupada por la calidad de agua que consumen en el municipio: "Necesitamos un estudio para saber si nuestra agua se puede tomar, porque desde hace cuatro años que hicimos la conexión no se ha analizado. Hacen exploraciones con cianuro y una debe estar pendiente de qué estamos tomando" (Gutiérrez, 2017).

La Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID, 2016) afirma que "las mujeres ven con preocupación el futuro, hablan del cambio climático, de que las quebradas y los pozos se están secando" y, de igual manera, hoy día también se preocupan por la calidad del agua que consumen sus familias, demostrando una vez más que el agua es cosa de mujeres.

5. Monitoreo de la calidad de agua

Como se ha documentado en este capítulo, en Nicaragua la calidad de agua está expuesta a muchos impactos en todos los sectores: aguas urbanos y rurales; aguas superficiales y aguas subterráneas; agua potable y sus fuentes del agua dulce continental y los acuíferos subterráneos; la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos.

La falta de monitoreo de la calidad de agua en muchas partes del mundo no permite una estimación global exacta de la contaminación del agua (United Nations, 2018). Los programas de monitoreo de calidad de agua en muchos países se consideran muy costosos, pero comparado con el valor de los recursos de agua y lo que se puede ahorrar en tomar decisiones basadas en información científica, los costos son mínimos (Lovett *et al*., 2007). Lo más primordial para la gestión de agua en un país es el aprovechamiento de ese recurso con la calidad debida para el consumo y la protección de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos. Para asegurar que el agua de consumo sea de la calidad debida, es fundamental contar con un sistema de monitoreo y un instrumento de ley que determine los valores guías para garantizar la calidad, así como para proteger los ecosistemas en los recursos hídricos existentes.

En el **Box 2** se destaca la gran importancia de monitoreo de la calidad de agua en zonas rurales para poder asegurar la gestión integral del recurso agua, y en los humedales que juegan un papel esencial por mantener la calidad de agua en áreas costeras y cuerpos de agua superficiales.

Actualmente existen algunos laboratorios comerciales y de investigación para realizar análisis de agua, destacándose los siguientes: Instituto de Capacitación, Investigación y Desarrollo Ambiental (CIDEA-UCA), Centro de Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN), Laboratorio Médico Químico Bengoechea, Laboratorio Químico S.A. (LAQUISA) y Universidad de Ingeniería (UNI); de igual manera, la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL) y el Ministerio de Salud (MINSA).

6. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones se han elaborado con base en la necesidad de cumplir con los ODS y, en las conclusiones relacionadas con los tópicos destacados en el contenido de este capítulo, se han detallado los impactos en la calidad de agua y sus causas, agua y salud, género y calidad de agua, y monitoreo de la calidad de agua. Se ha procurado presentar algunas medidas que son urgentes y necesarias para los próximos años con la finalidad de mejorar la calidad de agua en Nicaragua y evitar crisis ambientales y de salud:

1. Nicaragua necesita progresar en el cumplimiento del ODS 6 (garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos) y se han incluido recomendaciones basada en las conclusiones para las metas específicas de los ODS, a saber:
    - Mejorar el acceso y calidad de agua, especialmente en zonas rurales y periurbanas (Meta 6.1).
    - Aumentar la cobertura de saneamiento mejorado y adecuado que no causa impactos secundarios en cuerpos receptores de agua (Meta 6.2).

Box 2. Necesidad de monitoreo de la calidad del agua para desarrollo comunal en Zonas Rurales

"Un componente esencial para la planificación del desarrollo comunal es la información fiable sobre los recursos hídricos que emplea, particularmente el agua potable para su consumo. El monitoreo de la calidad resulta ser un elemento esencial para el control de la calidad y debe formar parte de los esfuerzos para el aprovechamiento racional y la protección de las fuentes hídricas. Aunque por razones de costos y cobertura insuficiente en el monitoreo realizado por las instituciones, cuya responsabilidad es precisamente mantener actualizadas las bases de datos de la calidad de agua y facilitar su acceso a los interesados, esta información es insustituible y debe procurarse por los medios que sean posibles. La información sobre calidad de agua tanto superficial como subterránea es fundamental para la gestión integral de los recursos hídricos" (Salvatierra, 2018).

Monitoreo de Calidad de Agua para Humedales

Humedales en el mundo desaparecen por impacto en la calidad de agua.

"Debido a la degradación y la pérdida de los humedales en el mundo, en particular Nicaragua, resulta necesario y urgente la necesidad de monitorear la calidad del agua de los humedales por los pobladores, para la protección y conservación actual y futura.

El monitorear la calidad del agua en los humedales dulceacuícolas de Nicaragua, es necesario, tanto por su aplicación como fuentes de agua potable como por el rol ecológico y servicios ecosistémicos que desempeñan dichos humedales. Infortunadamente, el monitoreo tradicional de la calidad de agua empleando técnicas de laboratorio establecidos (ensayos microbiológicos y análisis físico químicos) continúan inaccesibles para zonas rurales por costos elevados y falta de cobertura en los programas nacionales sanitarios, por lo que el empleo de indicadores biológicos contribuye al establecimiento de monitoreos alternativos de la calidad del agua.

La experiencia internacional ha mostrado que el conocimiento de la diversidad biológica de la fauna de macroinvertebrados acuáticos facilita el conocimiento del estado de conservación del ecosistema y la calidad del agua. Este monitoreo puede incluso apoyarse desarrollando las capacidades locales, mediante el adiestramiento y organización de pobladores que participen en la recolección y clasificación de organismos dulceacuícolas bajo la guía de especialistas." (Maes y Salvatierra, 2014:2).

La Convención sobre los Humedales en la Resolución VIII.14, menciona que "un programa de monitoreo debe ser parte integral de cualquier plan de manejo. Sin embargo, aun cuando no exista todavía un plan de manejo, es posible llevar a cabo un programa de monitoreo". El propósito de un programa de monitoreo es detectar un "cambio o posible cambio en las características ecológicas" (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010).

- Introducir medidas para reducir la contaminación por agroquímicos, erosión en las cuencas hidrográficas, aguas residuales no-tratadas adecuadamente, desechos sólidos sin manejo y control (Meta 6.3).
- Introducir más innovación y aplicación de técnicas adecuadas para el reúso y reciclaje seguro de desechos sólidos y líquidos (Meta 6.4).
- Avanzar en la gestión integrada de las cuencas hidrográficas que incluye un cambio en las prácticas de gobernabilidad y una política de cooperación en las cuencas transfronterizas (Meta 6.5).
- Introducir programas para la protección de los ecosistemas relacionadas con el recurso agua como humedales, bosques con especial atención a los bosques húmedos y secos tropicales, ríos, lagos, lagunas cratéricas, lagunas costeras y acuíferos (Meta 6.6).

2. Desarrollar un programa de gestión integrada de cuencas con énfasis en los dos grandes lagos nicaragüenses, que incluye planes de acción en subcuencas priorizadas para ir dando pasos en la prevención de contaminación difusa y, así, impedir el aumento en la erosión de la cuenca con miras a enfrentar la sedimenta-

ción y eutrofización en los lagos. Este programa es urgente en el caso del **Lago Cocibolca,** considerando que es importante continuar con su aprovechamiento como agua potable para la población que vive en su cuenca y con perspectiva a otros usos planificados para el futuro. En el caso del **Lago Xolotlán** se recomienda seguir desarrollando el plan de establecer un sistema de drenaje más efectivo que controle la entrada de aguas pluviales mezcladas con sedimentos y algunas aguas residuales que no reciben tratamiento en la PTAR de Managua, con miras a continuar mejorando la calidad de agua para aumentar el uso recreativo del lago.

3. Se reconoce el progreso de la ENACAL, facilitado por la cooperación internacional, por aumentar la cobertura de saneamiento en zonas urbanas en todo el territorio nacional y, especialmente, en la Costa Caribe de Nicaragua.

   La Meta 6.2 de los ODS es "lograr el acceso a servicios de saneamiento o higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre prestando especial atención a las necesidades de las mujeres, a las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad". Tomando en cuenta que Nicaragua aún tiene 15% de la población rural que practica defecación al aire libre es urgente progresar en establecer diseños y planes específicos para zonas rurales con el fin en aumentar la cobertura de saneamiento mejorado en las comunidades y lograr la meta de **erradicar la fecalización al aire libre en Nicaragua.**

4. Es importante cambiar la visión sobre el valor ecológico y respectivo uso de las **lagunas cratéricas** tomando en cuenta la calidad de sus aguas, su biodiversidad particular y riqueza paisajística; está claramente indicado en la Norma Técnica para el Control Ambiental de las Lagunas Cratéricas (NTON 05 002-99, 1998) que "no se permite en las lagunas Cratéricas, directa o indirectamente, aguas residuales tratadas o no tratadas, de origen doméstico, industrial o agropecuario, ni la canalización de aguas pluviales que lleven desechos sólidos" (Inciso 5.1.1). Se necesita promover la implementación de la Norma.

5. La implementación de un plan efectivo de manejo forestal es una parte integral de la gestión integral de cuenca que debería ser específicamente elaborado según las características de las seis cuencas hidrográficas de Nicaragua y sus subcuencas. Es urgente introducir **medidas para proteger los ríos, lagos, humedales y lagunas costeras** para impedir la continuación del aumento en la sedimentación con un plan de acción basado en información de diagnósticos de las características particulares y posibles soluciones a los problemas encontrados. Se sugiere incluir la restauración de zonas riparias y planes de reforestación, especialmente en la cuenca alta, que posiblemente puedan ser establecidas como áreas protegidas. Es importante incluir planes de gestión específica para lagunas costeras, sujetos a colmatación por los sedimentos que traen los ríos afluentes.

6. El crecimiento de urbanizaciones implica un aumento en la escorrentía superficial y, como consecuencia, mayor erosión. Se recomienda poner atención especial a la **cuenca alrededor de los centros urbanos** con planes de control de uso de suelo y mejorar o establecer sistemas de drenaje efectivos.

7. Es urgente impedir la continuación de la **deforestación** en general en todo el territorio nacional y en las **Reservas de la Biosfera**. Depende de la voluntad y actuación de las autoridades de gobierno y la implementación y/o renovación de los planes de manejo. La resolución de los conflictos sociales sobre la tierra en las Reservas amerita atención especial con todos los partes involucrados. Se sugiere introducir proyectos emprendedores de producción que aprovechen los propios recursos e involucren a todas las partes de las comunidades.

8. Se recomienda implementar con más control y regulación las **buenas prácticas agrícolas y mejor manejo de plaguicidas** para impedir que continúe la contaminación de los recursos de agua.

9. Existen ya algunos modelos de la **buena gestión con los desechos sólidos**, pero es fundamental que Nicaragua avance más en mejorar la eficiencia de los sistemas de recolección urbana y rural, la deposición final en basureros organizados en la forma de rellenos sanitarios y aumentar el reciclaje; todo puede traer beneficios a la sociedad en salud, calidad de agua e igualmente en lo económico.

10. Las aguas residuales deberían ser vistas como una fuente de agua, energía y nutrientes. Es importante avanzar con **prácticas de reúso**, especialmente en zonas secas, para enfrentar los periodos de seguía y sostener la producción agrícola. Por supuesto que es necesario tener un buen sistema de **monitoreo para evaluar la calidad según su perspectiva de uso.**
11. Tomando en cuenta el carácter volcánico de algunas partes del territorio nacional de Nicaragua, es esencial **controlar la calidad de agua por la presencia de arsénico** y otros metales. Se recomienda también una mejor planificación de las zonas de perforación de pozos, tomando en cuenta evaluaciones geológicas y toxicológicas de los sitios en consideración.
12. Se recomienda poner **atención especial a la minería industrial y artesanal** para el control de posibles procesos de contaminación, resultado de los pasos de extracción y los elementos usados para facilitar la recuperación del metal.
13. Con miras a mejorar la calidad de agua en relación con la **contaminación microbiológica,** se sugiere introducir un mejor control sobre los **pozos excavados en las zonas rurales**, que exige la introducción de medidas de protección a nivel de finca y en comunidades.
14. La **transmisión de agentes de enfermedades** por medio de aguas superficiales y subterráneas ha afectado la salud de la población en Nicaragua. Es importante mejorar las medidas de **protección de todas las fuentes de agua de consumo y recreación** desde sus cuencas.
15. Se propone promover más capacitación e involucramiento de las **mujeres en medidas de control de calidad de agua** en general y en las fuentes domésticas.
16. Es importante mejorar el sistema de **monitoreo de la calidad de agua** para incluir todos los elementos con riesgo a impacto en el consumo y otros usos.

    Se sugiere incluir un monitoreo que controle el **buen funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales** con miras a garantizar una calidad segura para deposición o reúso.
17. Es fundamental aumentar la **investigación científica** para proveer diagnósticos e información necesaria para el control de calidad de agua con miras a minimizar el impacto en la salud humana. En eso es importante construir capacidades institucionales para promover la investigación y análisis de información para mejorar las condiciones ambientales, ofrecer soluciones en vista a evitar afectaciones a la población por el uso de agua de calidad no-adecuada.
18. Se requiere mejorar la **implementación de las leyes ambientales** y especialmente la Ley General de Aguas Nacionales, N° 620. A pesar de que Ley No. 620 fue aprobada el día 4 de septiembre de 2007, a la fecha continúan sin implementarse las previsiones de mayor importancia como son:

    En el Art. 114 de dicha Ley, se establece que el Consejo Nacional de los Recursos Hídricos (CNRH), en su primera reunión deberá crear un Comité Técnico de entre sus miembros para que formule y elabore una planificación nacional de recursos hídricos con criterios de ordenamiento territorial y enfoque de cuenca para el uso adecuado del suelo, asegurar la producción y protección de agua a mediano y largo plazos. En el Art. 117, la Ley 620 establece que el Plan Nacional para la producción de agua, una vez aprobado por el Consejo Nacional de los Recursos Hídricos (CNRH), pasará a formar parte de la Política Nacional de los Recursos Hídricos.
19. Con fines de estimular la investigación científica y educar a la población sobre la importancia de la calidad de agua en todos sus aspectos, es importante establecer una base de datos de información sobre la calidad de agua accesible al público. La ya citada Ley 620 establece en el Artículo 14 que son instrumentos de gestión de los recursos hídricos:

    El Sistema Nacional de Información de los Recursos Hídricos. Conformado principalmente por la información geográfica, meteorológica, hidrológica, hidrogeológica e incluye el manejo de los bancos de datos, la operación y mantenimiento de las redes y la difusión de la información obtenida.
20. Para preservar la riqueza del recurso agua que se destaca en Nicaragua, es fundamental **desarrollar una gobernabilidad que tome en cuenta el aprovechamiento racional de los recursos** y su relación entre sí.

Agradecimientos

Agradecimientos y Reconocimiento para Salvador Montenegro Guillén para sus sugerencias y revisión como experto en los recursos acuáticos de Nicaragua.

Referencias bibliográficas

Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) (2016). E*l agua es cosa de mujeres.* Nicaragua. Recuperado de: http://www.aecid.org.ni/wp-content/uploads/2016/03/El-agua-es-cosa-de-mujeres.-AECID.Nicaragua.pdf

Alianza Nicaragüense ante el Cambio Climático (ANACC) (2016). *Crisis Socio-ambiental de Nicaragua Post Sequía 2016.* Managua: Centro Humboldt.

Altamirano M. & Bundschuh J. (2009). Natural arsenic groundwater contamination of the sedimentary aquifers of southwestern Sébaco Valley, Nicaragua. *Geogenic Arsenic in Groundwater of Latin America.* CRC Press, Editors: J. Bundschuh, M.A. Armienta, P. Birkle, P. Bhattacharya, J. Matschullat & A.B. Mukherjee.

André L., Rosén K. & Torstendaho J. (1997). *Minor Field Study of Mercury and Lead from Gold Refining in Central Nicaragua.* Lulea Tekniska Universitet.

Autoridad Nacional de Agua (ANA), Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Programa de Asistencia Técnica en Agua y Saneamiento (PROATAS) y Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) (2014). *Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter.*

Barragne Bigot, P. (2004). *Contaminación natural por arsénico de las aguas subterráneas de Nicaragua.* United Nations International Children´s Emergency Fund-UNICEF. Recuperado de: http://unicef.org.ni/media/publicaciones/archivos/Arsenico_Afche.pdf

Bonell M. & Bruijnzeel L.A. (eds.) (2005). *Forests, water and people in the humid tropics: past, present and future hydrological research for integrated land and water management.* Cambridge: Cambridge University Press.

Bravo J., Orozco W. y Soto D. (2016). Desarrollo de un Sistema de Monitoreo Ambiental para Mejorar la Prevención y Capacidad de Adaptación al Cambio Climático de las Comunidades Pesqueras y Acuícolas: Caso de Estudio Estero Real Nicaragua. *Circular de Pesca y Acuicultura,* N°1112. Roma: FAO.

Briemberg, J. (1994). *An investigation of pesticide contamination of groundwater sources for urban water distribution systems in the Pacific Region of Nicaragua.* Final Report 3, CIDA Awards for Canadians.

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) (2007). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life and agriculture. En: *Canadian environmental quality guidelines.* Actualización 2007 de la versión 1999. Winnipeg: Canadian Council of Ministers of the Environment.

Carlson R.E. (1977). A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography* 22(2):361-369.

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN) (1997). *Informe Final: Proyecto Generación de las Bases Científico-Técnicas y Sociales para la Formulación de un Plan de Saneamiento de Granada y su Área de Influencia.* Financiado por el Fondo Canadá-Nicaragua para el Manejo del Medio Ambiente y apoyado por la Alcaldía Municipal de Granada.

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN) (2008). *Informe final de Evaluación y monitoreo de la calidad del agua del lago de Managua.* Proyecto de apoyo a la ejecución del Programa de Saneamiento Ambiente del Lago y la Ciudad de Managua, Contrato de Préstamo BID 1060/SF-NI. Con colaboración de ENACAL e INETER.

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN) (2011). *Informe. Evaluación del Impacto de la Calidad de Agua del Lago Xolotlán sobre el Río Tipitapa y el Área inmediata en el Lago Cocibolca (Estación Lluviosa, diciembre 2010 y Estación Seca, abril 2011).* Recuperado de: http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/ANA/ANA0017/11-EVALUACION-Cocibolca.pdf

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN) (2013). *Informe Fi-*

nal. Establecimiento de Línea de Base sobre la Calidad Actual del Agua y Sedimentos de la Laguna de Masaya Año 2012-2013. Informe sometido a la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) y la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECID).

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN) y Center for Space and Remote Sensing Research (CSRSR) National Central University, Taiwán (2014-2016). *Proyecto – Monitoreo de los dos Grandes Lagos Nicaragüenses-Lago Xolotlán y Lago Cocibolca-con el fin de establecer un Sistema de Teleobservación por Satélite para Evaluaciones Futuras de la Calidad de Agua.*

Chacón M.C. (1994). *Evaluación Sanitaria en el Lago Tiscapa.* Monografía para optar al título de Licenciada en Biología. León, Nicaragua: UNAN.

Chang Ni-Bin, Bai Kaixu & Chen Chi-Farn (2017). Integrating multisensor satellite data merging and image reconstruction in support of machine learning for better water quality management. *Journal of Environmental Management* 201, 227-240. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/318008592_Integrating_multisensor_satellite_data_merging_and_image_reconstruction_in_support_of_machine_learning_for_better_water_quality_management

Comisión Nacional de los Recursos Hídricos República de Nicaragua y Gobierno de Dinamarca Ministerio del Exterior (DANIDA) (1996). *Plan de Acción de los Recursos Hídricos en Nicaragua-PARH. Área Focal Cuenca del Río Escondido RAAS–Chontales.* Nicaragua.

Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE) (1993). *Norma Regional CAPRE. Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano.* Recuperado de: http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/pdf/CAPRE_Normas_Regional.pdf

Cuadra J. y Vammen K. (2010). Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe Nicaragüense – Establecimiento de un Sistema de Monitoreo Ambiental. UNAN- *Universidad y Ciencia* No 8, año 5. Recuperado de: https://www.lamjol.info/index.php/UYC/article/download/316/243

Decreto No. 21- 2017. Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de Aguas Residuales. *La Gaceta* No. 229, del 30 de noviembre de 2017.

Decreto No. 33-95. Disposiciones para el Control Contaminación Provenientes Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias. *La Gaceta,* No. 118. (1995) Recuperado de: http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/138A846C29F5F07606257179005O9FA4?OpenDocument

Delgado V. (2003). *Groundwater Flow System and Water Quality in a Coastal Plain Aquifer in Northwestern Nicaragua.* M.Sc thesis. University of Calgary. Calgary, Alberta. Recuperado de: http://repositorio.unan.edu.ni/2649/

Eckman R. (1893). *Estudios de la Laguna de Tiscapa.* Actas de la Embajada Alemana en Managua.

Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL) (2008). *Plan de Desarrollo Institucional 2008-2012: Estrategia Sectorial de Agua Propuesta por ENACAL.* Managua. Recuperado de: http://www.enacal.com.ni/media/imgs/informacion/LIBRO%20ENACAL%20CAMBIO%20ENERO-05.pdf

Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) (2014). *Plan Operativo General-POG, Plan Operativo Anual 1-POA 1 en el marco del, Programa Integral Sectorial de Agua y Saneamiento Humano (PISASH)-Fase I.* Recuperado de: http://www.aecid.es/Centro-Documentacion/Documentos/FCAS/Proyectos/POG/POG_NIC-013-B.pdf

Environmental Performance Index (EPI) (2018). *Report Center for International Earth Science Information Network.* Earth Institute in collaboration with World Economic Forum. Yale University, Center for Environmental Law & Policy & Columbia University. Recuperado de: https://epi.envirocenter.yale.edu/epi-country-report/NIC

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO-AQUASTAT) (2013). *Country Profile, Nicaragua.* Recuperado de: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/NIC-WR_eng.stm

Fuentes C. (2015). *Reconstrucción cualitativa de algunos cambios limnológicos recientes (últimos 130 años) de laguna de Masaya, Nicaragua.* Tesis de maestría en Ciencias del Agua del CIRA/UNAN. Recuperado de: http://repositorio.unan.edu.ni/4888/

Gómez A. (2011). *Impacto de la ingesta de agua contaminada con arsénico en la salud de la población de comunidades rurales del territorio Nº 2 del municipio de Telica, León.* Nicaragua: Estudio financiado por OPS/OMS. Recuperado de: http://nuevasesperanzas.org/documents/03%20Project%20reports/Arsenic%20study%20PAHO%20epidemiological%20report%202011%20ESP.pdf

González J.L. (5 de julio2017). *El Nuevo Diario.* Recuperado de: https://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/432922-mujeres-achuapa-elaboran-filtros-agua/

González L.I. (1997). *Diagnóstico Ecológico de las Zonas Costeras de Nicaragua. Programa de Manejo Integral de las Zonas Costeras.* Managua: MAIZ-Co, MARENA.

González O., Aguirre J., Saugar G., Orozco L., Álvarez G., Palacios K. y Guevara O. (2007). Diagnóstico de la Calidad del Agua de Consumo en las Comunidades del Sector Rural Noreste del Municipio de León, Nicaragua. *Universitas*, Volumen 1, Año 1, 7-13. León: UNAN Editorial Universitaria. Recuperado de: http://revista.unanleon.edu.ni/index.php/universitas/article/view/1

Hazen y Sawyer (1964). *Informe sobre fuentes de abastecimiento de agua potable para Managua.* Preparado para la empresa aguadora de Managua.

Hutton A. (2004). Beyond financial reporting an integrated approach to disclosure. *Journal of Applied Corporate Finance,* vol. 16, No. 4, pp. 8–16.

Instituto Geográfico Nacional (1972). Mapa Batimétrico del Lago Nicaragua.

Instituto Nacional Forestal (INAFOR) (2008). *Programa Forestal Nacional.* Recuperado de: http://www.magfor.gob.ni/prorural/programasnacionales/planforestal.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INIDE) (2005). *VIII Censo de Población y IV de Vivienda.* Recuperado de: http://www.inide.gob.ni/censos2005/VolPoblacion/Volumen%20Poblacion%201-4/Vol.IV%20Poblacion-Municipios.pdf

Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) (2000). *Posición Geográfica, límites del territorio continental y composición de la superficie del territorio de Nicaragua.* Recuperado de: http://www.inide.gob.ni/compendio/pdf/inec111.pdf

Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) (2018). *Anuario Estadístico 2016.* Recuperado de: http://www.inide.gob.ni/Anuarios/Anuario%20Estadistico%202016.pdf

Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado Sanitario (INAA) y Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) (1993). *Proyecto de Abastecimiento de Agua en Managua. Informe Final.* Managua: INAA.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) (2004). *Estudio de Mapificación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Central de Nicaragua.* Recuperado de: www.bvsde.org.ni/Web_textos/COSUDE/0002/0002GESTIONRECURSOSHIDRICOS.pdf

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) (2010). *Boletín hidrogeológico anual.* Managua: Dirección de Hidrogeología, INETER.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) (2015). *Ubicación de Lagunas Cratéricas de Nicaragua.* Managua: Dirección de Recursos Hídricos, INETER.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) (2016). *Red Nacional de Acuíferos de Nicaragua.*

Jorgensen S.E., Tundisi J.G. & Matsumura-Tundisi (2012) *Handbook of Inland Aquatic Ecosystem Management.* CRC Press, octubre 17, 2012.

Lovette G.M., Burns D.A., Driscoll C.T., Jenkins J.C., Mitchell M.J., Rustad L., Likens G.E., & Haeuber R. (2007). Who needs environmental monitoring? *Frontiers in Ecology and the Environment*, Volume 5, Issue 5, June 2007, pp. 253-260. Washington D.C.: Ecological Society of America.

Losilla M., Rodríguez H., Schosinsky G., Stimson J. y Bethune D. (2001). *Los Acuíferos Volcánicos y el Desarrollo Sostenible en América Central.* San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Martínez V., Vammen K., Sánchez-Cabeza J.A., Alonso-Hernández C. y Quejido-Cabezas A. (2014). Flujo Cronológico de Metales en Sedimentos y la Sedimentación en la Bahía de Bluefields, Ni-

caragua. *Revista Agua y Conocimiento.* Vol.1, No.1. Julio-diciembre.

Ministerio de Agricultura y Forestal (MAGFOR) (1983) y (2000). *Mapa de Cobertura Vegetal.* Managua: MAGFOR.

Ministerio de Agricultura y Forestal (MAGFOR) (2002). *Mapa agroecológico de uso potencial de suelos.* Managua: MAGFOR.

Ministerio de Agricultura y Forestal (MAGFOR) (2011). *Mapa de Cobertura Vegetal Actual.* Managua: MAGFOR. Recuperado de: http://www.tortillaconsal.com/analisis_uso_suelo_1.pdf

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) (1999). *Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el Control Ambiental de las Lagunas Cratéricas.* NTON 05 002–99. Managua: MARENA. Recuperado de: http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/3C9CE07C25D44E18062573F3005F43BA?OpenDocument893

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) (2011). *Estudio de Uso del Suelo de la Cuenca del Lago Cocibolca.* Managua: MARENA.

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) (2017). *Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático para Enfrentar la Pobreza.* ENDE-REDD. Recuperado de: http://enderedd.sinia.net.ni/Docs/Doc_PaqueteR/1.%20Estrategia_Nacional_ENDEREDD.pdf

Ministerio de Salud (MINSA) (2001). Investigación Nacional sobre incidencias de intoxicaciones agudas por plaguicidas y estimaciones de subregistros en Nicaragua. *Boletín Epidemiológico e Informativo* #19, año 12 Pág. #2. Base de datos del Programa Nacional de Plaguicidas. Managua: Centro Nacional de Toxicología, MINSA Central. Tomados de Pavón, Karla y Ortega, Ana (2001). *Intoxicaciones por plaguicidas en menores de 15 años.* Trabajo Monográfico. Enero de 1995 a diciembre de 2001. Nicaragua.

Ministerio de Salud de Nicaragua (MINSA), MAGFOR, UNAN León, OPS (2012). *Foro Nacional de Leptospirosis de Nicaragua y Reunión Internacional de países que están enfrentando brotes de leptospirosis en las Américas.* Recuperado de: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=7868:2012-situacion-actual-paises-seleccionados&Itemid=39698&lang=es

Moncrieff J., Bentley L. & Calderón Palma H. (2008). Investigating pesticide transport in the León-Chinandega aquifer, Nicaragua. *Hydrogeology Journal.* Issue 1/2008. Springer Professional. Wiesbaden GmbH.

Montenegro Guillén S. y Jiménez García M. (2009). Residuos de plaguicidas en agua de pozos en Chinandega, Nicaragua. *Universidad y Ciencia.* UNAN-Managua. Año 4, No. 7, julio-diciembre de 2009. Recuperado de: http://repositorio.unan.edu.ni/2461/1/1000.pdf

Montenegro S. (2016). *Agua y desarrollo en Nicaragua.* Presentación del 26 de enero del 2017. Aquastat de la FAO. Perfil Nicaragua. Recuperado de: www.fao.org/nr/water/aquastat/data/queryresults.html

Moreno A.G. (2012). *Sistema Local de Atención Integral en Salud-León (SILAIS León).* Foro Internacional de Leptospirosis. León: MINSA.

Norma Técnica Ambiental para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de los Desechos Sólidos No-Peligrosos, NTON 05 014-01. Aprobado el día 3 de agosto del 2001, Publicado el día 24 de mayo del 2002. *La Gaceta,* No. 96 (2002). Recuperado de: http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/3D7B0C9BF4C186790625764E005D16F4?OpenDocument

Norma Técnica para el Control Ambiental de los rellenos Sanitarios para Desechos sólidos No Peligrosos, NTON 05 013-01. Aprobado el día 5 de diciembre del 2000. Publicado el día 22 de abril del 2002. *La Gaceta*, No. 73 (2002). Recuperado de: http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/68722115E0E27F50062573610072A1AB?OpenDocument

Norma Técnica para el Manejo y Eliminación de residuos Sólidos Peligrosos, NTON 05 015-02. Aprobado el 13 de septiembre del 2001. Publicado 5 de noviembre del 2002. *La Gaceta*, No. 210 (2002). Recuperado de: http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/bbe90a5bb646d50906257265005d21f8/f124ab4e19e485950625728a005c2c3f?OpenDocument

Norma Técnica para el Uso de las Aguas Residuales de los Efluentes Provenientes de la Industria Azucarera y Destilerías de Alcohol para el Riego de las Plantaciones de la Caña de Azúcar. Aprobada el 07 de agosto del 2007. Publicada del 5 de julio del 2010. *La Gaceta,* No. 126 (2010).

Recuperado de: http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/B648272FD35AB76D062577A6005C6332?OpenDocument

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018). *Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano que incorpora la primera adenda.* 4ª Ed. Ginebra. ISBN 978-92-4-354995-8. Recuperado de: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1

Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1975). *Investigaciones de aguas subterráneas en zonas seleccionadas de Nicaragua.*

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (1994). *Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper.* 29 Rev. 1. California, USA. Recuperado de: http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.htm

Organización Panamericana de Salud (OPS) (2005). El Control de las Enfermedades Transmisibles. *Publicación Científica y Técnica* No. 613. Informe Oficial de la Asociación Estadounidense de Salud Pública. David L. Heymann Editor. 18 ed. Washington, DC: OPS. Recuperado de: https://eliochoa.files.wordpress.com/2014/05/transmisibles-ops.pdf

Parello F., Aiuppa A., Calderon H., Calvi F., Cellura D., Martinez V., Militello M., Vammen K., Vinti D. (2008). Geochemical characterization of surface waters and groundwater resources in the Managua Area (Nicaragua, Central America). *Applied Geochemistry,* doi:10.1016/j.apgeochem.2007.08.006

Peña Torrez E., Montenegro S., Pitty J., Matsuyama A. y Yasuda Y. (2009). Contaminación por Mercurio en Nicaragua el caso de la Empresa Pennwalt, *Revista Científica Universidad y Ciencia* (7). pp.1-4. ISSN 2074-8655. Recuperado de: http://repositorio.unan.edu.ni/2448/

Picado F., Mendoza A., Cuadra S., Barmen G., Jakobsson K. & Bengtsson G. (2010). *Ecological, Groundwater, and Human Health Risk Assessment in a Mining Region of Nicaragua.* Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/43246262_Ecological_Groundwater_and_Human_Health_Risk_Assessment_in_a_Mining_Region_of_Nicaragua

Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente, Universidad Nacional de Ingeniería (CIEMA, UNI) (2009). *Arsénico en agua para consumo humano. Presencia y experiencias en remoción.* Simposio Arsénico. Managua, 2 de julio de 2009. Recuperado de: http://ribuni.uni.edu.ni/218/2/1Simpo-042.pdf

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) (2004). *Inventario de Plaguicidas COP en Nicaragua.*

Proyecto Reduciendo el Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe (REPCAR) (2010). *Informe de País Sobre Importaciones de Plaguicidas Correspondiente al Periodo 2004 – 2009, Nicaragua.* Recuperado de: http://www.cep.unep.org/repcar

Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) (2015). Agua Urbana en Nicaragua. En *Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de las Academias de Ciencias.* México: IANAS-UNESCO-IAP. Recuperado de: https://www.ianas.org/docs/books/Desafios_Agua.html

Salvatierra Suárez, Thelma (2018). *Gestión integral de los recursos hídricos como herramienta para facilitar el desarrollo territorial comunitario en dos Humedales de Importancia Internacional Ramsar de Nicaragua.* Tesis doctoral. Managua: UNAN.

Sandoval E. y Saborío A. (2008). Calidad bacteriológica del agua en los sitios de recolección de "conchas negras" (Anadara tuberculosa y Anadara similis) en Chinandega. *Revista Encuentro.* 2008/ Año XL, N° 81, 30-47. Managua: UC.

Schwoerbel, J. (1987). *Einführung in die Limnologie.* Stuttgart: Gustav Fisher Verlag.

Secretaría de la Convención de Ramsar (2010a). Manejo de humedales: Marcos para manejar Humedales de Importancia Internacional y otros humedales. *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales*, 4ª ed., vol. 18. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención de Ramsar.

SER San Antonio (2018). *Acerca de SER San Antonio.* Recuperado de: http://www.nicaraguasugar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=175

Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR) (2018). Recuperado de: http://www.siasar.org/es/paises/nicaragua

Stelzer R.S., Heffernan J. y Likens G.E. (2003). The influence of dissolved nutrients and particulate

organic matter quality on microbial respiration and biomass in a forest stream. *Freshwater Biology,* 48(11), pp.1925-1937.

Styles L. (2015). *Gestión de Residuos y Proveedores de Desechos.* Recuperado de: https://dlca.logcluster.org/pages/releaseview.action;jsessionid=1270838B1EB9202214A1E5FD2737CB44?pageId=7897123

Toledo A.P, Agudo E.G., Tolarico M., Chinez S.J. (1984). *Aplicação de modelos simplificados para avaliação da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais.* CETESB.

United Nations (UN) (2018). Sustainable Development. *Goal 6 Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation.* New York: UN. Recuperado de: http://www.unwater.org/publication_categories/sdg-6-synthesis-report-2018-on-water-and-sanitation/

United Nations Environmental Programme (UNEP) (2016). *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment.* Nairobi: UNEP. Recuperado de: https://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf

UN Water (2017). Aguas Residuales. El Recurso Desaprovechado. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017.* Paris: UNESCO, Recuperado de: http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf

Vammen K., Pitty J. y Montenegro Guillén S. (2006). Evaluación del proceso de eutrofización del Lago Cocibolca, Nicaragua y sus causas en la cuenca. En *Eutrofización en América del Sur, Consecuencias y Tecnologías de Gerencia y Control.* Instituto Internacional de Ecología, Interacademic Panel on International Issues, 35-58.

Vammen K. y Hurtado I. (2010). *Los recursos hídricos de Nicaragua.* CEPAL. Recuperado de: http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12820625348650/fao_nic_recursoshidricos_cepal.pdf

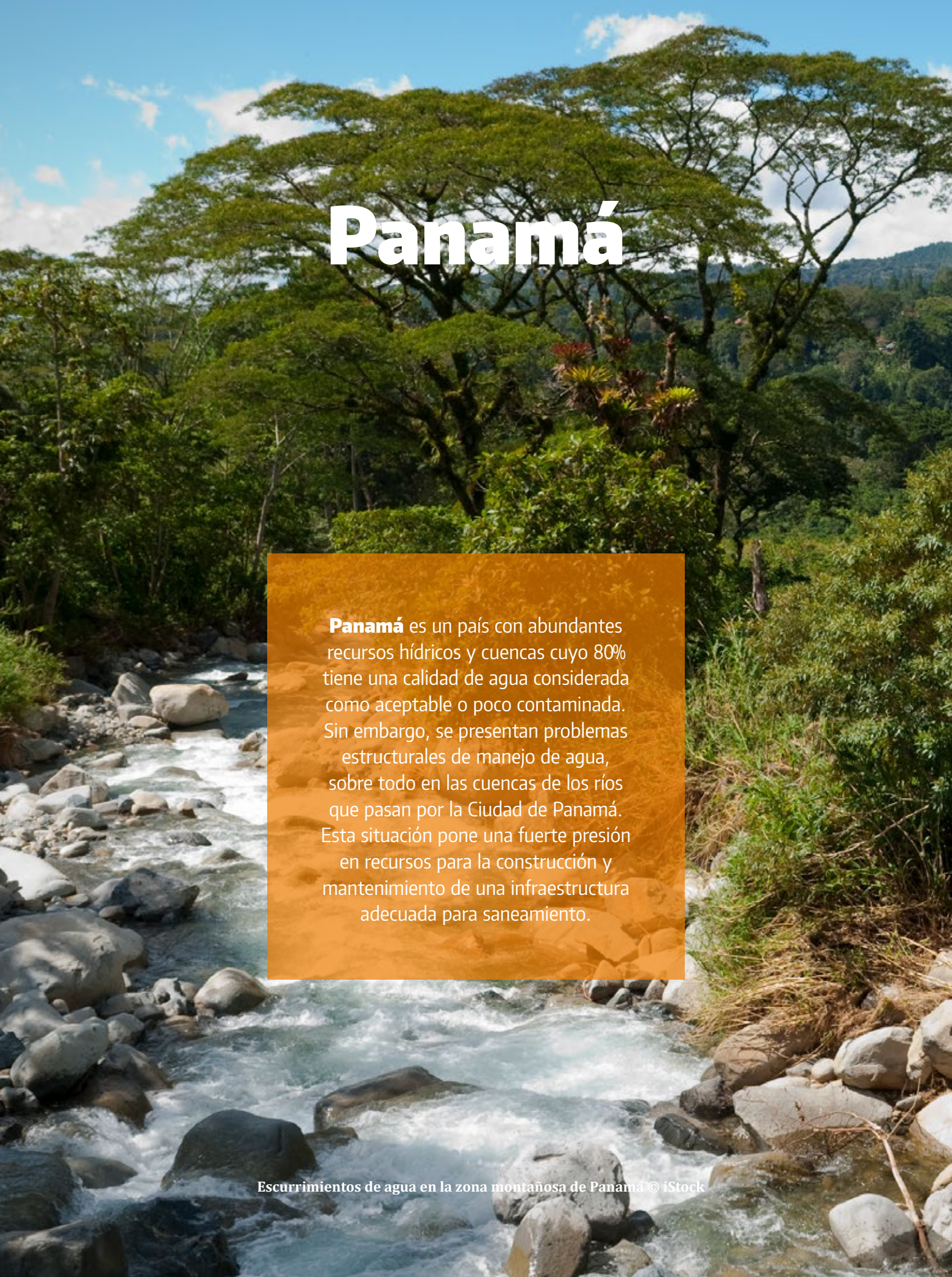
Vammen K. (2012). Conclusiones del Estudio "Calidad y Disponibilidad de los Recursos Hídricos en la Subcuenca del Río Viejo". Aporte para Lograr un Estado Ambientalmente Equilibrado en Beneficio a la Población. *Universidad y Ciencia* Vol. 6, Núm. 9 (2012). Recuperado de: https://www.lamjol.info/index.php/UYC/article/view/1953

World Health Organization (WHO) (2010). *Report of the First Meeting of the Leptospirosis Burden Epidemiology Reference Group.* Geneva. Recuperado de: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44382/9789241599894_eng.pdf?sequen ce=1

World Health Organization (WHO) y UNICEF (2017). Progreso para Agua Potable. *Saneamiento e Higiene 2017.* Geneva. Recuperado de: https://www.unicef.org/spanish/publications/index_96611.html

Panamá

Panamá es un país con abundantes recursos hídricos y cuencas cuyo 80% tiene una calidad de agua considerada como aceptable o poco contaminada. Sin embargo, se presentan problemas estructurales de manejo de agua, sobre todo en las cuencas de los ríos que pasan por la Ciudad de Panamá. Esta situación pone una fuerte presión en recursos para la construcción y mantenimiento de una infraestructura adecuada para saneamiento.



Escurrimientos de agua en la zona montañosa de Panamá © iStock

Calidad del agua en Panamá

José Fábrega, Elsa Flores, Manuel Zárate, Miroslava Morán, Denise Delvalle, Argentina Ying, Marilyn Diéguez, Euclides Deago y Kathia Broce

Resumen

La situación actual de la calidad del agua en Panamá es analizada desde diversas perspectivas, siendo claro el hecho de que, a pesar de tener abundantes recursos hídricos, Panamá presenta una serie de problemas estructurales en el contexto de la calidad del agua. Esta situación se agrava por un fuerte crecimiento demográfico en áreas urbanas, haciendo que la atención al saneamiento sea un tema que cobra cada vez más relevancia. Así, frente a los retos que plantea el futuro, la gestión integrada del recurso hídrico se considera como la opción más sostenible para mantener y mejorar la calidad del agua de nuestros ríos. Sin embargo, para que la misma tenga éxito, es necesario un marco regulatorio moderno y la asignación de recursos suficientes para la construcción de nueva infraestructura y el mantenimiento de la ya existente.

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Panamá es un país con una disponibilidad hídrica per cápita que para el año 2014 rondaba los 34.990 m^3/hab/año (http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC). Adicionalmente, de acuerdo con el Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH) 2015-2050: Agua para todos, la oferta total de agua dulce en Panamá es de 119.500 millones de m^3/año, de los cuales se emplea 25%. Esta demanda se distribuye así: uso energético 89,61%; transporte por el Canal de Panamá 7,39%; seguridad alimentaria 1,68%, consumo humano 1,27%; industria y otros rubros menos de 0,05% (MiAMBIENTE, 2016b).

José Fábrega. jose.fabrega@utp.ac.pa Coordinador del capítulo y autor correspondiente. Director e investigador, Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá; Secretario y Punto Focal del tema Agua de APANAC; Investigador Distinguido del Sistema Nacional de Investigación de Panamá (SNI). **Elsa Flores.** elsa.flores@utp.ac.pa Investigadora, Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá. **Manuel Zárate.** mzarate46@gmail.com Consultor ambiental y Gerente de Planeta Panamá Consultores, S.A. **Miroslava Morán.** mmoran@conagua.gob.pa Consejo Nacional del Agua. **Denise Delvalle.** denise.borrero@utp.ac.pa Investigadora, Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá. **Argentina Ying.** yingargentina@gmail.com Facultad de Medicina, Universidad de Panamá. **Marilyn Diéguez.** mdieguez@pancanal.com Unidad de Calidad de Agua, Autoridad del Canal de Panamá (ACP). **Euclides Deago.** euclides.deago@utp.ac.pa Director de Sanidad Básica, CONADES, e Investigador del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá. **Kathia Broce.** kathia.broce@utp.ac.pa Investigadora, Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá.

Si bien el istmo realiza su primera potabilizadora hacia la mitad del siglo XIX en la ciudad de Colón con la construcción del ferrocarril transístmico, no es sino hasta principios del siglo XX, con motivo de la construcción del Canal de Panamá, cuando se introducen las primeras redes de distribución de agua potable y de manejo de aguas residuales en las ciudades de Panamá y Colón. Se instalan, entonces, las potabilizadoras de Aguas Claras (1911) en Colón, la de Monte Esperanza (1914) y la de Miraflores (1915) que abastece a la Ciudad de Panamá (MiAMBIENTE, 2016b). No obstante, las aguas residuales y los flujos pluviales se conducían directamente a los ríos, desembocando sobre las bahías de Panamá en el Pacífico y de Manzanillo en el Caribe.

Antes, las subcuencas múltiples de la ciudad de Panamá –las de los ríos Matasnillo, Río Abajo, Curundú– eran las fuentes del abastecimiento hídrico de la población bajo sistemas de dotación de carruajes para su transporte; la letrina era el mejor receptor de las excretas, y las aguas domésticas y basuras caían sobre las playas, pantanales y manglares. En el resto del país, los primeros acueductos se produjeron tan sólo entre 1914 y 1920, en las ciudades de Aguadulce, Pesé y Las Tablas (MiAMBIENTE, 2016b) –áreas estrechamente conectadas a la metrópolis como fuentes de suministros agrícolas–, todos de carácter privado, pero en general sobresalió siempre en esta materia el claro abandono del sector rural.

Panamá cuenta con 56 plantas potabilizadoras y 2.830 Juntas Administradoras de Acueductos Rurales con personería jurídica (JAAR) (MiAMBIENTE, 2016b), aunque de distribución bastante heterogénea. Las urbes del corredor interoceánico, por ejemplo, concentran una notable capacidad en infraestructuras mientras que existe una importante deuda con las provincias de Los Santos, Herrera y Darién, así como con las comarcas indígenas Guna, Ngábé-Büglé y Emberá-Wounnan que presentan las más precarias condiciones de servicio. El correcto manejo y disposición final de las aguas residuales (domésticas o industriales) representan un enorme reto para Panamá (Fábrega et al., 2015). Sin embargo, aquí igualmente se ve una desproporción importante entre la población urbana y rural. De acuerdo con el Banco Mundial, la población urbana en Panamá cuenta con 80% de acceso a facilidades de saneamiento mejoradas que incluyen sistemas de alcantarillado, tanques sépticos y letrinas (http://data.worldbank.org/ indicator/SH.STA.ACSN.UR).

Específicamente, en lo relacionado con la cobertura de servicios de alcantarillados sanitarios, el Boletín Estadístico del IDAAN N° 26 (2010-2012) muestra que el porcentaje de la población con sistema de alcantarillado (poblaciones mayores a 1.500) –de la cual es responsable el IDAAN– es de 57%, lo cual se traduce en aproximadamente 45% de la población total del país (Fábrega et al., 2013). En el tema de plantas de tratamiento, Panamá cuenta con cerca de 100 plantas de tratamiento secundario concentradas principalmente en las ciudades de Panamá, La Chorrera y Arraiján, las cuales benefician a cerca de 100.000 personas (FOCARD-APS, 2013).

Adicionalmente, desde 2006, se inició el proyecto de Saneamiento de la Bahía, dentro del cual se inaugura en Panamá la primera fase de una gran planta de tratamiento de aguas residuales que brinda servicios a cerca de 250.000 personas y recibe 1,8 m^3/s (FOCARD-APS, 2013).

Igualmente, se cuenta con un solo relleno sanitario, medianamente amigable con el ambiente. Estos proyectos (Saneamiento de la Bahía y relleno sanitario) se ubican en la Ciudad de Panamá. Nuevamente, se aprecia la diferencia en inversión entre el área urbana a los extremos de la Cuenca del Canal en comparación con centros urbanos del interior nacional, donde grandes transformaciones estructurales, junto a la densificación poblacional urbana por efecto de los procesos de desruralización, han ocurrido en diversas ciudades (Colón, Santiago, David, Penonomé, Changuinola y otros).

1.2. Principales problemas de calidad de agua

Se puede destacar que los más grandes problemas de contaminación se encuentran en las regiones del Pacífico, con particular incidencia en las zonas marino-costeras por la mayor concentración demográfica y la densa red hidrográfica que las alimenta,[1] además de los atrasos tecnológicos en los procesos productivos agrario e industrial, y los déficits existentes en las infraestructuras domésticas de gestión sanitaria del recurso, sobresaliendo la situación en las costas de la Bahía de Panamá.

1. Panamá tiene 52 cuencas que abarcan 350 ríos en el litoral Pacífico (70% del total) y 150 en el litoral Caribe.

Igual de preocupante es la presión por el recurso hídrico en la Cuenca del Canal de Panamá, sobre todo por el vertiginoso incremento de la población urbana que se abastece del mismo recurso empleado para los procesos de navegación en el canal.

1.3. Objetivos y alcance del capítulo

Los principales objetivos de este capítulo son:

a. Presentar un retrato actual de la situación de la Calidad del Agua en el país desde diversos aspectos (gobernabilidad, salud, contaminación, Metas de Desarrollo Sostenible, etcétera).
b. Establecer posibles causas de las situaciones encontradas.

2. Autoridades y gobernanza de la calidad del agua

La gobernanza del agua en Panamá está contenida en una serie de excertas legales (constitución política, leyes formales, decretos ejecutivos, reglamentos, resoluciones, políticas nacionales, etcétera) que comprenden las normas que rigen los niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo con y sin contacto directo, las normas de reutilización de las aguas tratadas y las normas de calidad de agua para consumo humano.

Ahora bien, la evaluación de calidad del agua (física, química y microbiológica) para consumo humano (potable) es realizada de forma continua por parte de los suplidores más importantes, como lo son el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Para comunidades con poblaciones inferiores a las 1.500 personas, son las JAAR las suplidoras de agua para consumo humano. Las JAAR son regentadas por el Ministerio de Salud (MINSA), el cual cuenta con laboratorios en sólo algunas regiones del país, por lo que para estas juntas existe en muchos casos una incertidumbre relativa a la calidad del agua entregada.

De acuerdo con el Censo de 2010, realizado por la Contraloría General de la República, la población panameña aumentó entre los años 2000 a 2010, de 2.839.177 a 3.405.813 personas. De este total, 12,3% corresponde a distintas poblaciones indígenas (INEC, 2012). Cuando tocamos el tema de calidad de agua en zonas indígenas, la situación es otra ya que por patrones culturales ancestrales estos grupos "consideran que el agua es fundamental para la vida, pero que su máximo poder se manifiesta cuando está fluyendo" (MINSA, 2016). De allí que cualquier intervención humana que corte este flujo es considerada antinatural. La construcción de tomas de agua para acueductos, por ejemplo, es vista como una limitante al uso del agua para aseo personal y actividades de sanación (OPS/OMS/MINSA, 2016).

2.1. Marco legal

En relación con la gobernanza de la calidad del agua, la Constitución Política de Panamá (2004) –en su Título II Deberes y Derechos Individuales y Sociales, Capítulo 7 Régimen Ecológico, Artículos 118 a 121– establece, entre otras cosas, que "es deber fundamental del Estado garantizar que la población viva en un ambiente sano y libre de contaminación, en donde el aire, el agua y los alimentos satisfagan los requerimientos del desarrollo adecuado de la vida humana". El establecimiento a nivel constitucional de la responsabilidad del Estado con respecto a agua y saneamiento hace que las demás leyes del país deban ser cónsonas con ella. Este marco jurídico general es desarrollado en otro conjunto de normas que, aunque de menor jerarquía, igualmente buscan garantizar los derechos tutelados en la Constitución. En este sentido deben resaltarse los reglamentos dictados por el MINSA, el Ministerio de Comercio e Industrias (MICI) y el Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE), los cuales se listan en la **Tabla 1.**

Existen otros tipos de normas sectoriales que establecen el marco de funcionamiento y desarrollo del sector agua y saneamiento, como la Ley No. 26 de 1996 que creó el Ente Regulador, el que tendría, entre otras funciones, la regulación, el control, la supervisión y la fiscalización de la prestación de los servicios públicos de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario en la República de Panamá. El Decreto Ley 10 de 2006 modifica esta ley, renombrando al Ente como la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), cuyo reglamento (Decreto Ejecutivo N° 279 de 2006) le otorga funciones para el cobro coactivo, la coordinación interinstitucional y el control de la prestación de los servicios públicos.

Otra norma sectorial fundamental es la Ley General de Ambiente (Ley N° 41 de 1998) que crea la Autoridad Nacional de Ambiente (ANAM), la cual es

Tabla 1. Reglamentos relativos a calidad de agua en Panamá

Nombre (Institución)	Aspecto cubierto	Referencia
Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-393-99 (MICI)	Toma de muestras para análisis físico-químicos	*Gaceta Oficial* N° 23.941 del 6 de diciembre de 1999.
Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 22-394-99 (MICI)	Toma de muestras para análisis biológicos	*Gaceta Oficial* N° 23.949 del 17 de diciembre de 1999.
Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99 (MICI)	Requisitos físicos, químicos, biológicos y radiológicos que debe cumplir el agua potable	*Gaceta Oficial* N° 23.942 del 7 de diciembre de 1999.
Resolución No 507 del 30 de diciembre de 2003 (MINSA)	Procedimiento para controlar la calidad del agua potable	*Gaceta Oficial* N° 24.970 del 20 de enero de 2004.
Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 24-99 (MICI)	Reutilización de las aguas residuales tratadas	*Gaceta Oficial* N° 24.008 del 13 de marzo de 2000.
Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2000 (MICI)	Descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos de agua y masas de agua superficiales y subterráneas	*Gaceta Oficial* N° 24.115 del 10 de agosto de 2000.
Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000 (MICI)	Descarga de efluentes líquidos directamente a sistemas de recolección de aguas residuales	*Gaceta Oficial* N° 24.115 del 10 de agosto de 2000.
Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 47-2000 (MICI)	Usos y disposición de lodos	Gaceta Oficial No. 24.115 del 10 de agosto de 2000.

modificada por la Ley N° 8 de 2015 que crea el Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE) como la entidad rectora del Estado en materia de protección, conservación, preservación y restauración del ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales para asegurar el cumplimiento y aplicación de las leyes, los reglamentos y la Política Nacional del Ambiente. El Ministerio de Ambiente debe monitorear las actividades que varíen el régimen de la calidad del agua e igualmente es el responsable de que el agua sea del dominio de todos los ciudadanos del país. Dentro del monitoreo de la calidad del agua de los ríos, también tiene la responsabilidad de monitorear la calidad de los vertidos de aguas residuales que se hacen a ellos. Estas regulaciones valen tanto para el sector público como para el privado.

Adicionalmente, Panamá cuenta con una Política Nacional de los Recursos Hídricos formalizada a través del Decreto Ejecutivo N° 84 de 2007. Igualmente, el Decreto 202 de 1990, modificado por el Decreto Ejecutivo 441 de 2008, crea el Comité Interinstitucional de Agua Potable y Saneamiento, el cual aglutina a las principales instituciones del sector, tanto a nivel operativo como regulador, y a otras instituciones de investigación y de educación. Finalmente, cabe resaltar que en el año 2016 se aprueba el Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050 (MiAMBIENTE, 2016b): Agua para todos mediante la Resolución de Gabinete 114 del 2016. Este plan identifica metas concretas a alcanzar en la gestión del recurso hídrico como son: i) Acceso universal al agua de calidad y servicios de saneamiento, ii) Agua para el crecimiento socioeconómico inclusivo, iii) Gestión preventiva de riesgos, iv) Cuencas hidrográficas saludables y v) Sostenibilidad hídrica. En esta resolución de 2016 se crea igualmente el Consejo Nacional del Agua (CONAGUA) y la Secretaria Técnica del mismo, la cual entre otras funciones debe garantizar la implementación de las acciones del PNSH 2015-2050.

2.2. Relaciones con Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y universidades

La estructura y organización del sector agua y saneamiento en la República de Panamá es compleja dada la multiplicidad de instituciones y actores que forman parte de él. En la **Figura 1** se muestra la composición del sector, desde la intervención de los organismos de cooperación internacional y las instituciones nacionales que acompañan esta gestión,

hasta las relaciones con las universidades y empresas privadas.

A nivel universitario y centros de formación técnica, en el sector público destacan la Universidad de Panamá (UP), la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI) y el Instituto Nacional de Formación Profesional y Capacitación para el Desarrollo Humano (INADEH). Asimismo, en el sector privado destacan la Universidad Santa María La Antigua (USMA) y la Universidad Latina.

Aquí, la participación de la gestión es a través de la formación del recurso humano y la investigación científica. La investigación en las universidades se da a través de tesis de grado, de maestría o de desarrollo de proyectos de investigación en el tema que realizan sus facultades o Centros de Investigación, como es el caso del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) de la UTP.

Desde el punto de vista regulatorio y de gestión de calidad, cabe destacar los servicios prestados por los laboratorios o institutos universitarios como son el Laboratorio de Aguas Industriales y Calidad Ambiental (LABAICA) de la UTP, el Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la UP y el Laboratorio de Aguas y Servicios Físico Químicos (LASEF) de la UNACHI. Es importante mencionar, también, que existe al menos una decena de laboratorios privados que igualmente realizan análisis de calidad del agua.

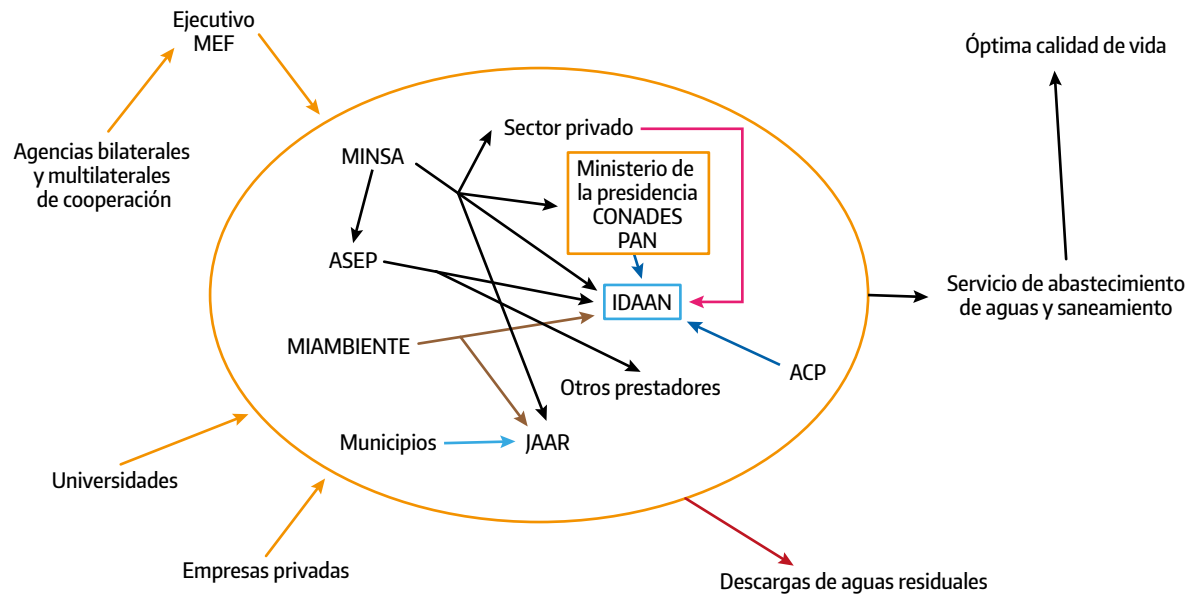
Las Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y las agencias bilaterales y multilaterales de crédito y cooperación internacional participan en el sector agua y saneamiento principalmente mediante capacitación, asesoría técnica y financiamiento de inversiones.

2.3. Monitoreo, base de datos y disponibilidad de la información

El monitoreo de la calidad del agua, en las cuencas hidrográficas del país, es llevada a cabo institucionalmente por el MiAMBIENTE, el MINSA, el IDAAN y la ACP, esta última dentro de su competencia exclusiva sobre la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá. En el caso del IDAAN, la **Figura 2** muestra el comportamiento en cuanto a cumplimiento de agua potable entre los años 1999-2015.

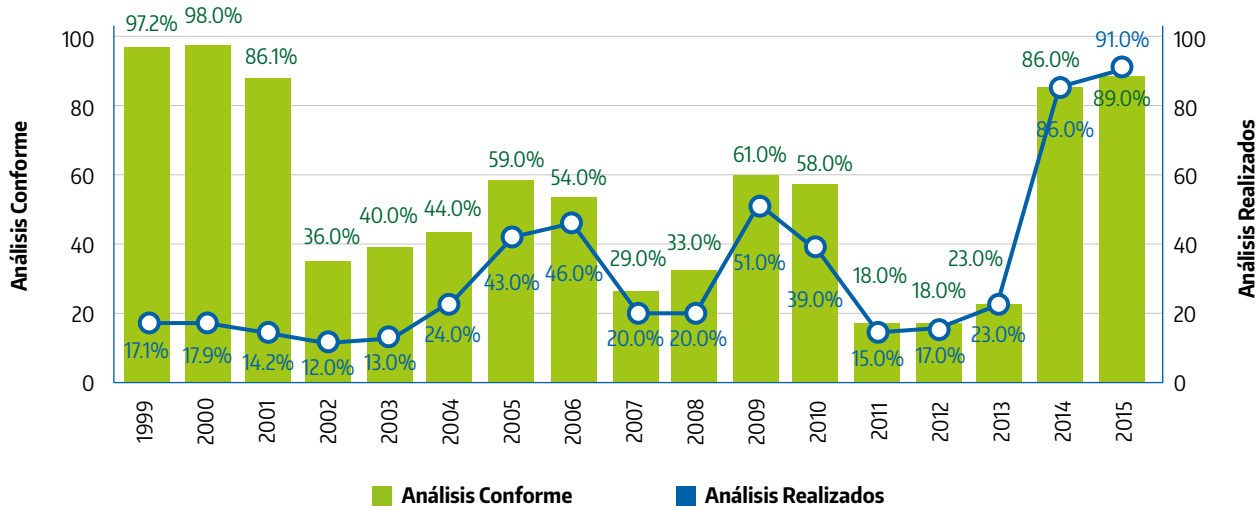
Para el caso de MiAMBIENTE (antigua ANAM), se establece en 2002 una red de monitoreo de calidad del agua en 16 cuencas hidrográficas a nivel nacional. Esta red se vuelve operativa (dotación de equipo y entrenamiento) para finales de 2003

Figura 1. Composición del subsector de agua potable y alcantarillado sanitario



Elaborado por: Darío Delgado (OPS/OMS/MINSA, 2016).

Figura 2. Cumplimiento histórico de calidad de agua potable del IDAAN 1999-2015



Fuente: Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP, 2016). Datos obtenidos en entrevista con el Ing. Carlos Gómez de la ASEP, el 7 de marzo de 2017.

gracias, en gran medida, al Proyecto Técnicas de Monitoreo de Calidad del Agua (PROTEMOCA), patrocinado por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA, por sus siglas en inglés) (ANAM, 2013). El último de los informes de monitoreo de la calidad del agua presentado por la entonces ANAM recoge información para el período de 2009 a 2012, de 35 cuencas en la vertiente del Pacífico y 10 cuencas en la vertiente del Atlántico. En total, se monitorearon 100 ríos del país, con 277 puntos de monitoreo ubicados en las partes altas, medias y bajas de las cuencas involucradas. En este informe se presentan valores de Índice de Calidad de Agua (ICA) compuesto por 11 parámetros de calidad del agua: pH, conductividad, temperatura, turbiedad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), nitratos, fosfatos y coliformes fecales. Los valores correspondientes a estos monitoreos pueden ser consultados en: http:/miambiente.gob.pa/index.php/es/2013-02-20-08-51-24/biblioteca-virtual

En la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP), en el año 2015 la ACP realizó mediciones en 38 estaciones de monitoreo ubicadas en embalses, ríos y subcuencas prioritarias (ver **Figura 3**). Se analizaron 25 parámetros: OD, DBO5, ortofosfatos, nitratos, coliformes totales, *E. coli,* sólidos totales suspendidos, cloruros, sodio, alcalinidad total, calcio, clorofila, conductividad, dureza total, potasio, magnesio, nitritos, pH, salinidad, sulfatos, sólidos totales y disueltos, temperatura, transparencia, carbono orgánico total y microcistinas.

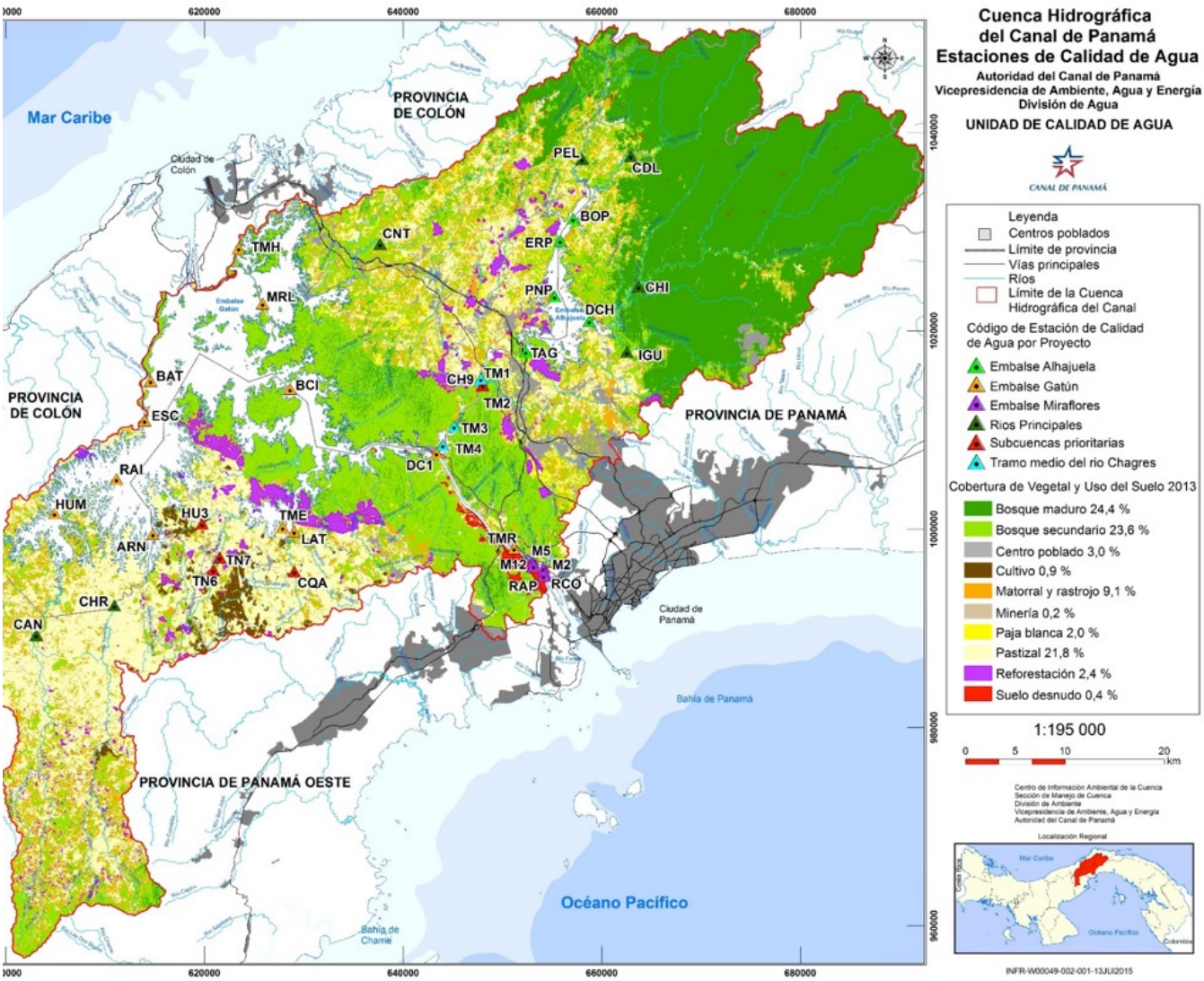
3. Aspectos sociales y de salud

Cuando asumimos el ambiente como sistema, encontramos que toda alteración ambiental está concatenada de alguna forma con la sociedad. No podemos, pues, encarar los problemas de la calidad del agua sin ubicarlos en su estrecha relación con los paradigmas y ordenamientos que dominan la vida social.

3.1 Zonas rurales y urbanas

El campo padece actualmente de un bajo crecimiento humano vegetativo en general, lo que unido al abandono de la actividad agraria por el joven campesinado y a la emigración hacia las urbes tras la búsqueda de la movilidad social, va dejando reducidas densidades de población rural, permitiendo que los factores de la resiliencia natural cubran

Figura 3. Estaciones de calidad del agua en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá



Fuente: http://micanaldepanama.com/nosotros/cuenca-hidrografica/

adecuadamente el control de los procesos sociales contaminantes por efecto de las prácticas de autosubsistencia.

Al mismo tiempo, este abandono viene siendo reemplazado por unidades de grandes hacendados con una explotación intensiva del suelo, que genera nuevos problemas en la calidad del agua. La agroindustria, bajo la explotación privada, ha introducido el uso intensivo del suelo, por lo general deficiente en nutrientes en nuestro país. Los suelos en Panamá son predominantemente ácidos (IDIAP, 2006) y, debido a la abundante precipitación, lixivian fácilmente el calcio, el potasio y el nitrógeno, al igual que su alta capacidad de fijación del fósforo hace de éste un elemento deficitario en la producción. Esto exige mejorar los procesos de fertilización con tecnologías de buen manejo.

Otro problema de nuestro esquema productivo es la transformación extensiva de los ecosistemas naturales en agroecosistemas simplificados. Recordemos que Panamá está localizada en la región con más alta biodiversidad del planeta (ANAM/CBD, 2014), lo que implica la existencia de metabolismos naturales complejos e intensos pero, a la vez, frágiles. Esta transformación impulsa inevitablemente el crecimiento de especies oportunistas e indesea-

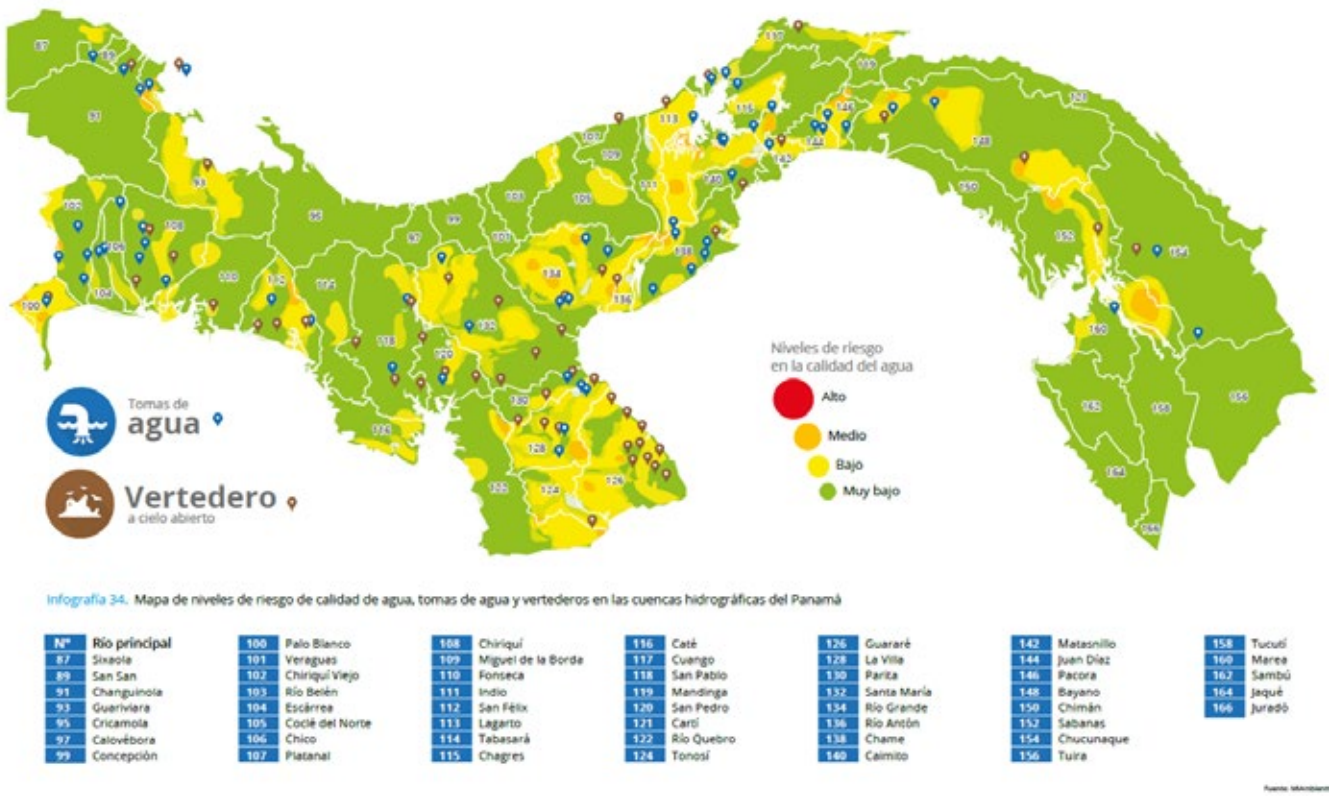
bles, las cuales sólo pueden controlarse empleando plaguicidas o herbicidas que, sin una aplicación adecuada, derivan en causantes de altos niveles de contaminación en los cuerpos naturales de aguas, con organoclorados, fosforoclorados, etcétera. Esto sucede al tiempo que la desvegetación rasa y la mecanización están dando paso al incremento de la erosión, produciendo pérdidas de suelos y altos grados de turbiedad y sedimentación en los ríos y estuarios.

Hoy, la Ciudad de Panamá tiene más de 1,5 millones de habitantes y sólo recientemente comienza a funcionar una planta de tratamiento de aguas a gran escala, la cual está enmarcada dentro del proyecto de Saneamiento de la Bahía de Panamá. Acerca del Distrito de Colón preocupa que muchos de sus ríos y quebradas desembocan directamente en la Bahía de Limón o en el embalse del Gatún, con igual efecto porque toda sustancia contaminante que éstos contienen, aunque pasen por un proceso importante de dilución en las aguas lacustres, llegan también a la misma bahía a causa de los esclusajes canaleros de la zona atlántica y acumulan allí su carga. Lo mismo sucede en la ciudad de David, a 50 km de la frontera con Costa Rica, la cual es atravesada por varios ríos importantes, pero rodeada hoy de amplios cordones de precaristas, de una producción agrícola y ganadera extensiva, aunque con uso intensivo de agroquímicos y de industrias con muy mal manejo ambiental, a lo cual se agrega un deficiente relleno sanitario y una falta absoluta de plantas de tratamiento de aguas residuales. En la **Figura 4** se aprecia el mapa de riesgo de la calidad del agua en ríos en relación con la localización de vertederos en el país.

3.2 Salud

El libro *Desafíos del Agua Urbana* (IANAS, 2015) aborda en el capítulo de Panamá los aspectos más

Figura 4. Infografía N° 34 del PNSH 2015:2050 que muestra los niveles de riesgo en materia de calidad de agua en las cuencas de los ríos, en relación con la localización de los vertederos a cielo abierto y de las toma de agua



Fuente: MiAMBIENTE, 2016b.

relevantes relativos a aguas urbanas y salud hasta el año 2014. En esta oportunidad se actualiza la información presentada con un enfoque más holístico. De acuerdo con el informe "Análisis de Situación de Salud" (MINSA, 2015), y con base en el censo de 2010, se estima que 91,8% de la población panameña tiene acceso a agua potable (**Tabla 2**). No obstante, en las áreas indígenas más de 50% de la población no goza del recurso con las condiciones higiénicas, ni de acuerdo con la normativa de los organismos internacionales de salud. Se argumentan causas que van desde la dispersión de los habitantes, el poco acceso a los lugares poblados, los procesos de migración interna y la influencia cultural de los grupos originarios. Aquí se sigue la definición de "acceso al agua potable" de la Organización Mundial de la Salud (OMS), es decir, una fuente de agua a menos de 1 km del lugar de uso y la capacidad de obtener 20 litros diarios para cada miembro de la familia. Se estimaba que, para 2014, 25% de las viviendas ubicadas en áreas rurales no tendrían acceso a un servicio de agua potable adecuado y que 0,7% de las viviendas no dispondrían de acceso alguno al recurso (INEC, 2010).

El MINSA (2015) atribuye lo anterior a diversos factores: manejo deficiente de los suelos, deforestación, sedimentación, contaminación por plaguicidas, inadecuada disposición de las aguas residuales, deterioro de los ecosistemas (acentuado por las graves formas de contaminación ambiental), urbanizaciones no planificadas a orillas de las cuencas o ríos, incremento sostenido de la demanda de recursos hídricos para satisfacer las necesidades de la población, además de la falta de controles para evitar las pérdidas en la red de acueductos. En cuanto a esto último, tan sólo en las provincias de Panamá y Colón, las pérdidas alcanzan porcentajes mayores a 40% por la poca cultura en el uso racional del agua sumado a la falta de medidores de consumo familiar.

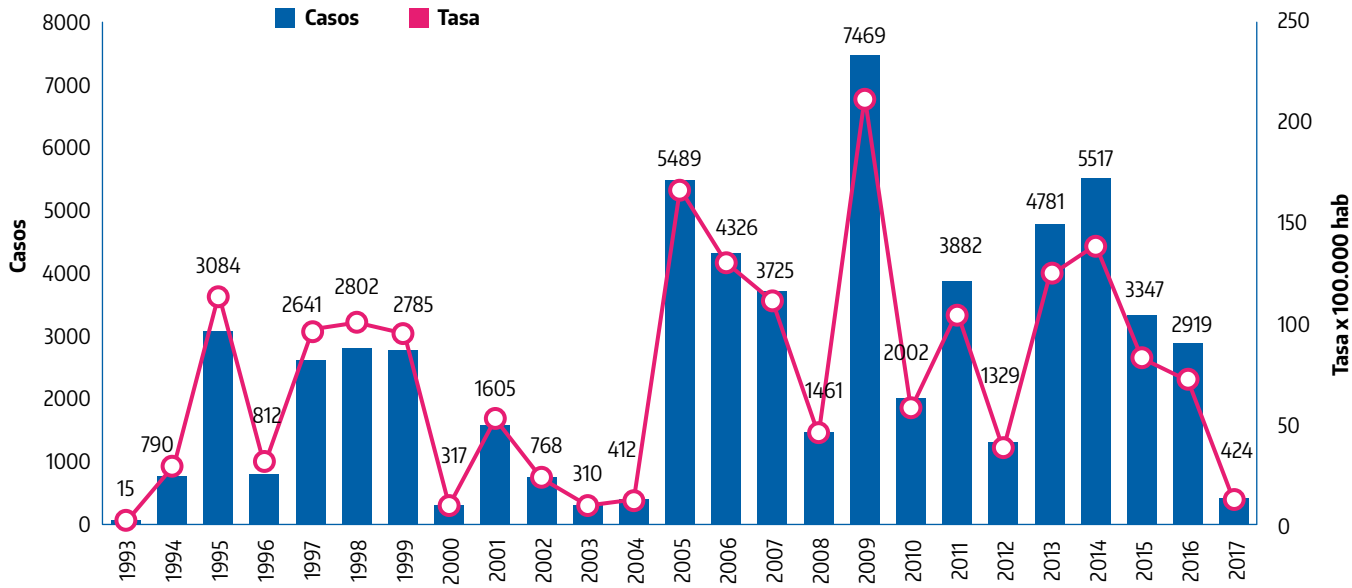
Enfermedades transmitidas por vectores asociados al agua. En Panamá, las principales enfermedades de este tipo son: dengue, chikungunya, zika y malaria. Sus porcentajes de incidencia no dejan de ser importantes y son debidas principalmente a la falta de agua potable, condición que exige a las personas almacenar agua en vasijas que se convierten en criaderos útiles.

Tabla 2. Porcentaje de la población con acceso a agua potable, según los censos de población de los años 1990, 2000 y 2010

Provincias y comarcas indígenas	Población con y sin acceso a agua potable por censo					
	1990*		2000		2010	
	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Total	**81.2**	**18.8**	**90.2**	**9.8**	**92.9**	**7.1**
Bocas del Toro	60.2	39.8	74.1	25.9	74.6	25.4
Coclé	75.9	24.1	91.5	8.5	95.1	4.9
Colón	83.3	16.7	92.0	8.0	93.5	6.5
Chiriquí	65.3	34.7	82.3	17.7	87.9	12.1
Darién	31.9	68.1	58.4	41.6	72.4	27.6
Herrera	78.4	21.6	93.6	6.4	96.6	3.4
Los Santos	85.7	14.3	96.1	3.9	98.6	1.4
Panamá	93.7	6.3	97.1	2.9	98.6	1.4
Veraguas	57.4	42.6	83.3	16.7	88.8	11.2
Kuna Yala			67.7	32.3	77.8	22.2
Emberá			10.7	89.3	27.6	72.4
Ngäbe-Buglé			29.9	70.1	38.6	61.4

*No se habían creado las comarcas indígenas y las áreas indígenas se incluían en las provincias que estaban alrededor de estas comarcas. Fuente: MEF, *Atlas Social de Panamá*, capítulo 3.

Figura 5. Casos de dengue y tasa de incidencia según año de ocurrencia en la República de Panamá 1993-2017

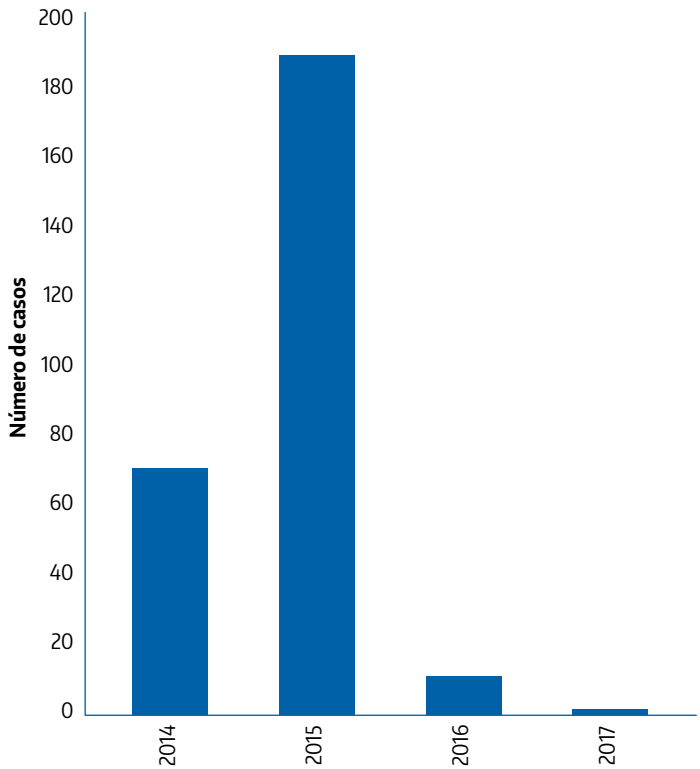


Fuente: MINSA, 2017b

La **Figura 5** muestra para el caso del dengue un descenso sostenido desde 2014 a la fecha, pasando de 5.517 casos en 2014 a 2.917 en 2016.

El virus Chikungunya (**Figura 6**) fue introducido en Panamá en el año 2014, ocasión en que se presentaron 68 casos (26 autóctonos y 42 importados). En 2015 hubo 181 casos confirmados (162 autóctonos y 19 importados); en 2016 fueron 11 los casos positivos (6 autóctonos y 5 importados); en 2017, de 317 casos sospechosos, sólo 20 resultaron positivos. A partir de la semana 47 de 2015, se han registrado en Panamá casos de infección con virus Zika, otra arbovirosis transmitida por mosquitos del género *Aedes*, con síntomas muy parecidos a los que producen los virus Dengue y Chikungunya, con el agravante de que se asocia con el síndrome de Guillain-Barré en personas que han sufrido la infección y con microcefalia en niños nacidos de madres a las que les ha dado la infección durante el embarazo. El 15 de marzo de 2016, el Centro Nacional de Enlace de Panamá informó a la OPS/OMS de un caso de síndrome de Guillain-Barré (GBS) con infección concomitante de virus Zika. Desde finales de 2015 a la semana 11 de 2017 se han reportado 52 mujeres embarazadas positivas, de las cuales una de 2015 es de Guna Yala con

Figura 6. Incidencia de casos de Chikungunya de 2014 a 2017 en la República de Panamá



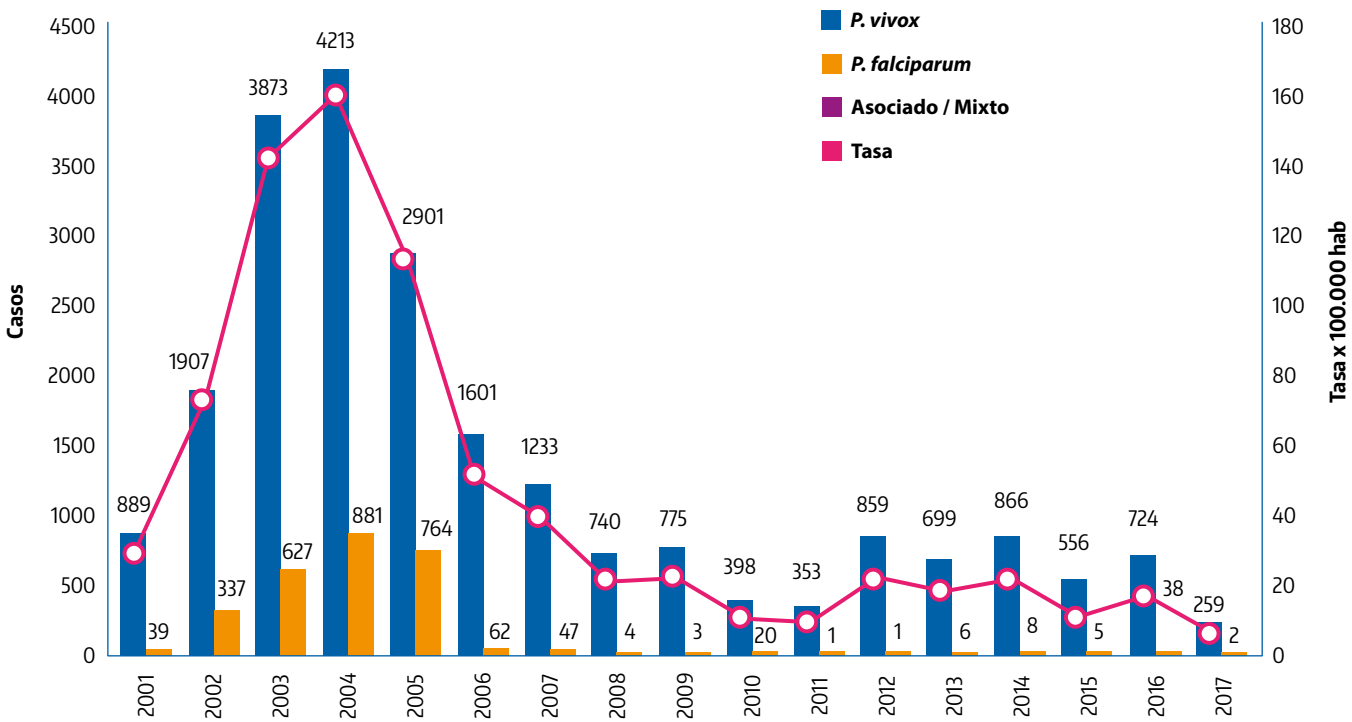
resultado positivo; de 2016, 45 (una con resultado positivo del extranjero) y, de 2017, 6 (MINSA, 2017d).

La malaria es una enfermedad parasitaria transmitida por hembras del género Anopheles, es endémica en Panamá, con cinco focos localizados al este de las ciudades de Panamá y Colón, específicamente en las Comarcas Ngäbe-Buglé (al este del país) y Guna Yala, en el área de Bayano, Mortí, Jaqué y Puerto Piña. De 2001 a 2017, la tasa de morbilidad y mortalidad se ha mantenido baja con tendencia estable en los últimos años (**Figura 7**).

Adicionalmente, se estima que 88% de las enfermedades diarreicas son producto de un abastecimiento de agua insalubre y de un saneamiento y una higiene deficientes (OMS, 2004). De acuerdo con ese organismo, la mejora del abastecimiento de agua reduce entre 6 y 21% la morbilidad por diarrea, si se contabilizan las consecuencias graves. En Panamá no tenemos estadísticas actualizadas de la etiología de las diarreas por consumo de agua contaminada con bacterias, enterovirus, helmintos, organismos de vida libre y protozoarios. La última epidemia de cólera se reportó de 1991 a 1993, después de la cual no se han reportado casos, ni se han hecho estudios que determinen la presencia de amebas de vida libre en aguas recreacionales, y tampoco se han documentado casos de meningoencefalitis amebiana primaria, ni de encefalitis amebiana granulomatosa.

Estudios como el de Álvarez *et al.* (2010), que incluyó varias regiones del país, encontraron una prevalencia de *Cryptosporidium* sp. de 6,4% en niños menores de cinco años, destacando que La Chorrera y Panamá Metro presentaron las prevalencias más altas con 16 y 11%, respectivamente. Otro artículo de Arosemena *et al.* (2014) detectó enteroparasitosis en tres comunidades indígenas, encontrando que 100% de las muestras de agua fueron positivas para alguna forma parasitaria, destacándose *Giardia* spp. en 35% y *Blastocystis* sp. en 33%. Estos valores confirman las condiciones sanitarias deficientes presentes en las comunidades indígenas.

Figura 7. Número de casos y tasas de incidencia de paludismo en Panamá 2001-2017 semana 15



Fuente: MINSA, 2017c.

4. Principales problemas que impactan la calidad del agua de Panamá

4.1 Eutrofización

La eutrofización se presenta de forma natural en los ecosistemas acuáticos y consiste en la evolución de éstos hacia condiciones terrestres por la acumulación de nutrientes, el desarrollo vigoroso de la vegetación y la acumulación de sedimentos. La eutrofización puede resumirse como el flujo de fertilizantes y nutrientes vegetales procedentes de fuentes humanas y agrícolas con consecuencias sobre las características estructurales y el funcionamiento del sistema acuático. De acuerdo con su grado de eutrofización, los embalses se clasifican en oligotróficos, mesotróficos y eutróficos (Margalef, 1983; Carlson y Simpson, 1996). Los embalses oligotróficos tienen muy poca o nada de vegetación acuática y están relativamente claros; los mesotróficos representan cuerpos de agua con un nivel intermedio de productividad, tienen comúnmente aguas claras y mantienen lechos de plantas acuáticas sumergidas y niveles medios de nutrientes; y los eutróficos tienden a recibir grandes cantidades de organismos, incluyendo las floraciones de algas. Cada clase trófica presenta diversos tipos de peces y de otros organismos (Margalef, 1983).

El embalse Gatún, durante su construcción y, posteriormente, en la operación del Canal de Panamá, presentó problemas de crecimiento de la vegetación acuática, inicialmente con especies nativas y, después, foráneas. Las entonces recientes condiciones, creadas por la liberación de nutrientes derivados de la descomposición de la materia orgánica que quedó expuesta, favorecieron el desarrollo exponencial de una biomasa vegetal de proporciones alarmantes (Von Chong, 1986). Las primeras plantas acuáticas en aparecer en forma obstructiva (Von Chong, 1986) fueron la especie enraizada del jacinto de agua (*Eichornia azurea*), seguida de la especie flotante del jacinto de agua (*E. crassipes*). Luego, en la sucesión natural de las especies acuáticas que ocurría en el embalse, les siguió la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en combinación con un número variado de especies gramíneas y otras especies de hoja ancha, así como de especies sumergidas (*Hydrilla verticilata*).

En 1948, para el control de las plantas acuáticas, se introdujo el herbicida 2,4 D específico para el jacinto de agua (*E. crassipes*), que había reemplazado a la "hierba acuática" (*Hydrilla verticillata*) en aquellas áreas donde se había mantenido bajo control con el uso del sulfato de cobre (Von Chong, 1986). Desde 1951 hasta 1964 fue el único herbicida utilizado, aplicándose específicamente para controlar el jacinto de agua. Durante ese período fue observado el fenómeno de sucesión ecológica de la vegetación, pasando la *Hydrilla* a invadir y apoderarse de aquellas áreas de operación que se mantenían bajo un programa de control para el jacinto de agua. En 1964, en áreas del Canal de Panamá se introdujeron varios manatíes de las especies *Trichechus manatus* y *T. inunquis* con el objetivo de controlar ciertas plantas acuáticas, hospederas del mosquito *Mansonia*. En su momento, se determinó que serían necesarios unos 2.000 manatíes para empezar a notar un impacto en el control de la vegetación del embalse Gatún (Von Chong, 1986).

La otrora Compañía del Canal de Panamá reportó, en 1977, que "las colonias de macrófitas acuáticas en el lago Gatún estaban impidiendo la operación del Canal. La *Hydrilla verticillata*, una especie sumergida, representó el mayor peligro a la navegación en el lago Gatún" (PCC, 1977; Dardeau, 1983, en Clark, 2015). La introducción de la carpa herbívora, en el embalse Gatún, respondió a la necesidad de controlar la *Hydrilla verticillata* (Custer *et al.*, 1979, en Clark, 2015). En 1977 se introdujo la chinilla *Neochetina bruchi,* del jacinto flotante, y en 1979, la mariposa *Sameodes albiquitallis* que ataca la especie flotante del jacinto de agua. Es importante resaltar que, en el proceso de sucesión natural de la vegetación acuática, otras plantas han ido reemplazando a aquellas que se fueron controlando. En 1978 se introdujeron más de 250.000 alevines de la carpa herbívora *Ctenopheryngodon idella* como control biológico para la *Hydrilla*, no llegándose a observar reducción alguna en la biomasa de esta planta en el embalse (Von Chong, 1986).

Entre 1986 y 1988, una persona que desconocía las características de "herbívoro voraz" del caracol gigante *Pomacea* sp., lo introdujo al embalse Gatún, en el área de La Arenosa, La Chorrera (Gutiérrez, 1991). Su efecto como controlador de la *Hydrilla* se hizo visible unos meses después. La actividad humana, principalmente, fue dispersándola en la to-

talidad del embalse. Lo anterior es confirmado por Clark (2015), quien establece que un caracol (*Pomacea* sp.) y la larva de una polilla (*Parapoynx* sp.), introducidos accidental o intencionalmente, han sido los controles biológicos que podrían explicar los cambios ocurridos después de casi 20 años.

Finalmente, desde 1994 no se ha hecho un estudio comprensivo de la vegetación acuática en el embalse Gatún. Sin embargo, en relación con la calidad del agua, ha habido estudios cortos (Jara, 2012) e incursiones al Río Chagres para la identificación/localización de la especie por método fotogramétrico (Jaramillo, 2013). Otros trabajos realizados corresponden al manejo regular de la vegetación que, en el caso de la *Hydrilla*, se ha visto reducida desde la aparición del caracol ya mencionado. Para terminar, la ACP, a través de la Unidad de Calidad de Agua, desde 2003 ejecuta el programa de Vigilancia y Seguimiento de la Calidad del Agua, el cual, a partir de 2009, calcula el Índice de Estado Trófico de Carlson (IET) para los embalses Gatún y Alhajuela (Autoridad del Canal de Panamá, 2010). En la evaluación del estado trófico de los embalses Gatún y Alhajuela se utiliza el índice de estado trófico basado en la clorofila (IETClor) como índice principal, debido a que éste es el mejor estimador de la biomasa algal (Carlson y Simpson, 1996). También se han considerado de forma complementaria la evaluación de la transparencia o profundidad Secchi (IETSD) y las concentraciones superficiales de fósforo total (IETP tot). El índice proporciona valores que pueden variar entre 0 (oligotrofia) y 100 (eutrofia), situándose en torno a 50 el límite con la mesotrofia.

Como se muestra en la **Tabla 3**, y con base en los resultados del IETClor, los embalses Gatún y Alhajuela se clasifican, en general, como mesotróficos. En el embalse Gatún los valores del IETClor varían en las estaciones de calidad de agua, entre 25 (mínimo en BAT-2014) y 50 (máximo en HUM-2016), y en el Alhajuela, entre 32 (mínimo en BOP-2011) y 51 (máximo en ERP-2010 y PNP-2010). En cuanto a la distribución espacial es posible distinguir áreas donde los valores de IETClor, en promedio, son menores: en el embalse Gatún, hacia las estaciones ARN (38), RAI (37), ESC (34), BAT (34), MLR (38), TME (36) y TMR (38), y en el embalse Alhajuela, hacia las desembocaduras de los ríos Boquerón y Pequení donde se ubica la estación BOP (37). En ambos embalses, el IETSD se ve influido por los sólidos inorgánicos en suspensión.

La alta renovación del agua, como resultado de su uso para esclusajes, así como la remoción de la vegetación acuática, favorece la menor eutrofia. Sin embargo, el incremento de sólidos suspendidos puede tener un impacto negativo sobre la calidad del agua, que podría conducir al aumento de los costos del tratamiento del agua cruda para potabilización. Además, el acarreo de sólidos totales sus-

Tabla 3. Promedio anual de estados tróficos (IETClor) para el período 2009-2016

Año	Embalse Gatún a/	Embalse Alhajuela b/
2009	**43**	**47**
2010	42	48
2011	39	40
2012	37	44
2013	36	44
2014	34	42
2015	37	47
2016	41	44
Promedio	39	44

Observaciones: a/ Los promedios anuales indican que, de 2009 a 2016, el promedio anual del IET en el embalse Gatún se mantiene en estado mesotrófico. La prueba T para muestras independientes, con un alfa de 0,05, indica que no hay diferencias significativas en el valor de IET de 2009 y 2016. b/ Los promedios anuales indican que, de 2009 a 2016, el promedio anual del IET en el embalse Alhajuela se mantiene en un estado mesotrófico.
Fuente: Elaborado por Marylin Diéguez (2018) basado en datos de la ACP.

pendidos tiene un impacto negativo sobre el ecosistema con afectaciones a la fauna y flora acuática.

4.2. Contaminantes naturales

Tal como se presentó en la sección 2.3, en 2013 la ANAM (actual MiAMBIENTE) desarrolló su último informe de monitoreo entre los años 2009-2012, de 35 cuencas y 100 ríos. Se hicieron mediciones en las partes altas, medias y bajas de cada río, evaluándose el Índice de Calidad de Agua (ICA). El ICA clasifica la calidad del agua en una escala de 0 a 100. Cualitativamente, estos índices clasifican la calidad del río entre excelente o no contaminada hasta muy mala o altamente contaminada. En la **Tabla 4** se presenta la correlación cuantitativa y cualitativa de dicho índice. En la **Tabla 5** se presenta un resumen de los índices encontrados en los 100 ríos evaluados.

Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP). Para el año 2015, en la CHCP se calculó un total de 683 índices de calidad de agua para un número similar de muestras. Tal como muestra la **Tabla 6**, los resultados obtenidos son muy similares a los resultados correspondientes al período 2003-2013 (ACP, 2016). La distribución porcentual del ICA en los embalses monitoreados de Gatún, Alhajuela y Miraflores, los ríos principales y tramo medio del Río Chagres y las subcuencas prioritarias de la CHCP son resumidos en la Figura 8. Esta figura recalca la buena calidad de agua que presentan los diferentes cuerpos de agua de la CHCP. Son de especial atención los valores de los embalses de Alhajuela y Gatún, que sirven de fuente de agua potable para la mayoría de la población de las principales áreas metropolitanas del país (Panamá y Colón).

En cuanto a la variación estacional del ICA en el CHCP se puede decir que, en el período histórico 2003-2013, se observan valores promedios más altos (85-87) en la estación seca (enero-abril) con un pico en marzo (87), para luego descender entre mayo y junio (83 y 82) que coincide con el inicio de la estación lluviosa. Finalmente, se ve un ligero descenso entre agosto y diciembre con valores entre 80 y 81, y valores promedio más bajos en noviembre (80) (ACP, 2016).

Tabla 4. Rangos y calificaciones para valores del ICA utilizados por MiAMBIENTE

Intervalos	Calificación (descriptor)
91-100	Excelente/No contaminada
71-90	Bueno/Aceptable
51-70	Medio/Poco Contaminado
26-50	Malo/Contaminado
0-25	Muy mala/Altamente contaminada

Tabla 5. Resumen de los resultados de ICA en 100 ríos, dentro de 35 cuencas hidrográficas en la República de Panamá para el período 2009-2012

Índice de Calidad de agua a/	N° de ríos
Excelente	0
Excelente/Bueno	4
Bueno	40
Bueno/Medio	34
Medio	3
Medio/Malo	8
Malo	1
Malo/Muy Malo	1
Muy Malo	1
No reportado b/	1
Otros c/	7
Total	**100**

a/ Dado que muchos ríos presentaban categorías diferentes, pero adyacentes en sus diversas secciones (alta, media y baja), se decidió colocar categorías intermedias. De esta forma, una categoría Bueno/Medio, por ejemplo, significa que en algunas secciones del río el ICA era bueno y en otras era medio.
b/ Cuenca del Río Chagres, la cual es monitoreada por la ACP y es descrita aparte en esta sección.
c/ Resultados para los ríos Tocumen, Tapia, Guararé, Mensabe, Caimito, Río Abajo y Juan Díaz, los cuales presentan un ICA Bueno en sus partes altas; sin embargo, sus secciones media y/o baja presentan variaciones de más de una clasificación. Por ejemplo: i) Sección media: ICA Medio y Sección baja: ICA malo, ii) Sección media y baja: ICA Malo, y iii) Sección media: ICA Bueno, Sección baja: ICA Malo.
Fuente: Datos obtenidos del Informe de monitoreo de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de Panamá. Compendio de resultados 2009-2012 (ANAM, 2013).

Tabla 6. Distribución porcentual del ICA en la Cuenca Hidrográfica del Canal, 2015 y período 2003-2013

ICA	2015	2003-2013
Medio	**2%**	**3%**
Bueno	78%	77%
Excelente	20%	20%

Fuente: ACP, 2016.

4.3. Metales pesados

El rápido crecimiento poblacional a nivel mundial, la industrialización de las zonas costeras, la contaminación, la sobreexplotación de los recursos y una baja protección del medio contribuyen al deterioro de los ecosistemas marinos, generándose problemas en salud pública y pérdidas económicas considerables (Tayeb *et al*., 2015; Chen y Broce, 2015). En Panamá, diversos ecosistemas se han visto afectados por actividades antrópicas, dando como resultado una problemática ambiental, particularmente en ecosistemas marino-costeros. El impacto sobre estas zonas viene dado directamente por mecanismos como la acumulación de sustancias potencialmente peligrosas en los sedimentos marinos, tales como metales pesados contaminantes orgánicos, radionúclidos, etcétera, así como por la entrada de numerosos emisarios, los cuales contienen contaminantes de diversos orígenes (industriales, agrícolas, urbanos, etcétera) (Benali *et al*., 2015).

Entre los metales pesados[2] o elementos traza[3] destacan por su toxicidad y mayor presencia en el ambiente, el mercurio (Hg), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) (Orozco *et al.*, 2003). Aun cuando muchos metales pesados entran al medio marino provenientes mayormente de actividades antrópicas (desechos domésticos, industriales y agrícolas), su transporte generalmente ocurre por procesos naturales a través del ciclo hidrológico (Montero y Tenorio, 2010).

El Cd, el cobre (Cu) y el Pb son empleados en industrias como la minería, fundición de metales y la fabricación de pinturas. Las descargas residuales de estas actividades sin tratamiento previo pueden alcanzar la atmósfera y ser transportados por los vientos, las escorrentías producidas por las lluvias y los ríos más allá de la fuente local que los produce (Barría y Barría, 2004). Los metales pesados pueden provenir también de procesos geoquímicos como la meteorización, diagénesis, desorción e intercambio iónico, entre otros (Chen, 2017). En el caso de los estuarios y zonas costeras es a través del transporte de sedimentos continentales que muchos agentes químicos ingresan a estos sistemas, convirtiéndose en la principal ruta de entrada al medio marino. Así, la naturaleza antrópica o natural de la entrada de agentes químicos en zonas costeras, dificulta conocer el origen de la contaminación producida. De allí, la importancia de identificar las actividades desarrolladas en áreas aledañas a los cuerpos de agua, lo que permite correlacionar dicha actividad y las concentraciones de metales determinadas en un lugar definido.

Por otro lado, las aguas domésticas constituyen la mayor fuente individual de metales tales como el Cu, Pb, cinc (Zn) y Cd en ríos, lagos y, en algunos casos, zonas costeras. Elementos como el cromo (Cr), níquel (Ni) y estaño (Sn) son considerados más como indicadores de contaminación industrial (Montero y Tenorio, 2010). Metales como el Pb y sus sales son generados por fábricas de pinturas, alfarerías con esmaltado, fototermografía, pirotecnia, coloración de vidrios, o por industrias químicas productoras de tetraetilo de plomo y por algunas actividades mineras (http://www.sagan-gea.org/hojared/CAgua.html). El Pb está incluido en la lista de sustancias peligrosas prioritarias de la III Conferencia del Mar del Norte y confirmada en la IV Conferencia realizada en Dinamarca (1995), en donde se acordó reducir en 25 años las concentraciones ambientales de Pb a niveles cercanos a las concentraciones naturales (Montero y Tenorio, 2010). En Panamá, la eliminación gradual del uso y venta de gasolina con plomo (Montero y Tenorio, 2010) (Ley 36 de 17 de mayo de 1996) ha sido un factor preponderante en la disminución gradual de las concentraciones de este material en el aire de la ciudad y la consecuente mejora de la calidad ambiental.

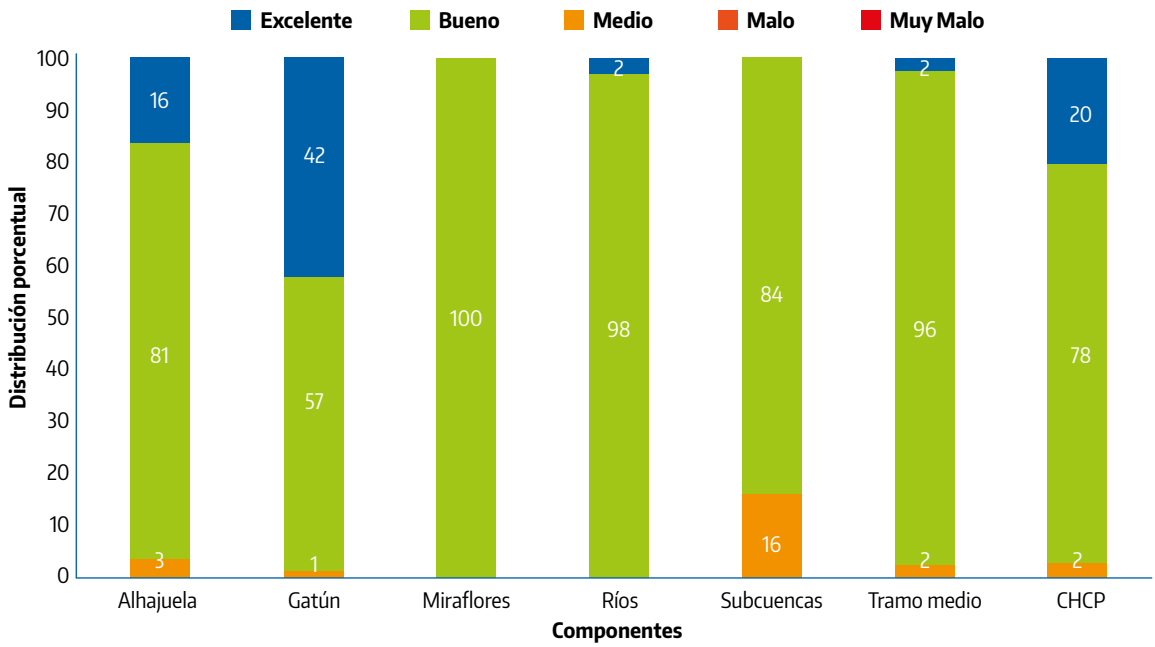
El Cd es un metal proveniente básicamente de actividades antrópicas y se asocia a la explotación de Zn y a desechos de la industria de plásticos, pinturas, aleaciones metálicas. No es biodegradable, por lo que su captación por el fitoplancton puede ser de gran significancia ecológica; además, interacciona con el metabolismo del calcio en los animales, provocando una serie de problemas de salud en peces (Rodríguez, 2008; Montero y Tenorio, 2010).

El hierro (Fe), manganeso (Mn) y Zn son considerados microelementos esenciales, especialmente en el funcionamiento de enzimas. El Fe se encuentra en menor concentración en el agua y en mayor concentración en material particulado y sedimentos marinos (Chen, A., 2017). El Cu también es esencial

2. Contaminantes ambientales muy peligrosos, debido a que no son biodegradables y a su potencial bioacumulación en organismos vivos.

3. Denominados por su presencia en pequeñas concentraciones.

Figura 8. Distribución porcentual del ICA en los embalses, ríos y subcuencas prioritarias y en el total de la CHCP durante 2015 (ACP, 2016)



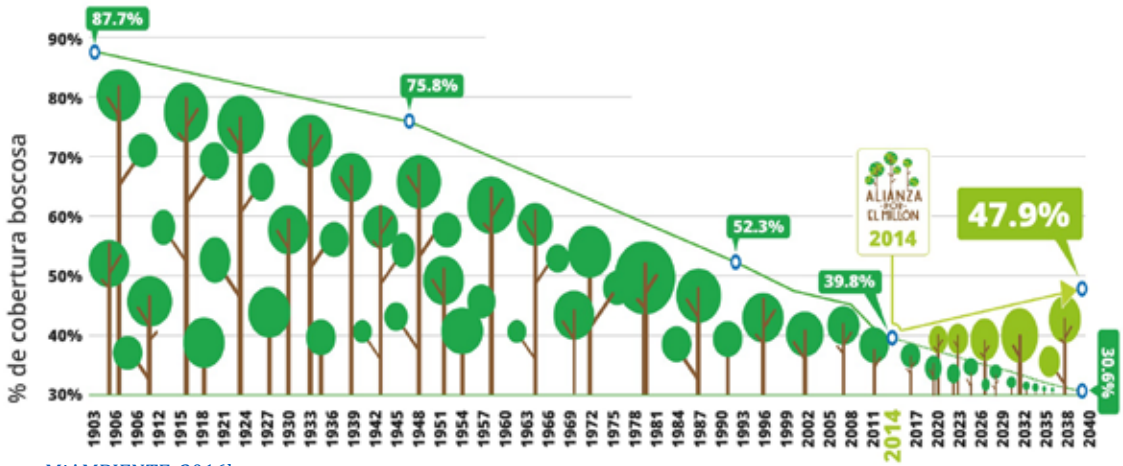
debido a su función dentro los organismos; sin embargo, en altas concentraciones, puede afectar la fotosíntesis y desarrollo de las algas, así como el desarrollo de animales marinos durante sus primeras etapas (huevos, larvas, etcétera) pudiendo causar la muerte de éstos (Chen, A., 2017). En Panamá se han realizado diversas investigaciones en zonas costeras para determinar la concentración de sustancias contaminantes. Estos estudios han empleado diversas matrices analíticas para la determinación de las concentraciones de ciertos metales pesados en el agua, sedimentos marinos, peces, moluscos, tejido foliar (Rodríguez, 2008).

El estudio realizado por Rodríguez (2008) de *Rhizophora mangle* L., en el bosque ubicado en la Isla de Cañas, Tonosí, Provincia de Los Santos, encontró concentraciones de Cu superiores a 10 µg/g (tanto en estación lluviosa como seca), lo cual supera los límites permitidos para ambientes naturales. Las concentraciones de Fe, Mn y Zn en los sedimentos del manglar se encontraron por debajo del límite para sedimentos no contaminados. Igualmente, la concentración de metales pesados en el tejido foliar (especialmente raíces) de *Rhizophora mangle* L. arrojó valores de Mn superiores a los encontrados en el sedimento. Este hallazgo es un indicador de la capacidad de bioacumulación de las raíces. Para el Fe y el Cu se determinó que las mayores concentraciones se presentaron en el tejido foliar en comparación con el sedimento y el agua del canal estuarino. Para el caso del Mn y Cu, la comparación de concentraciones entre el sedimento y el agua del canal estuarino del manglar arrojó altos niveles de estos metales en los sedimentos, lo cual es generalmente el caso (Rodríguez, 2008).

Otro estudio importante es el realizado por Quiñones (2011) en el Río Cattival, en la isla de Coiba, en el cual los metales pesados analizados presentaron valores muy bajos, a excepción del plomo (0,05 ppb)[4] (Quiñones, 2011). Otra investigación en el manglar de la isla Tamborcillo de Punta Chame estudió la presencia de Cd, Pb y Cu en el molusco *Anadara tuberculosa,* encontrándose que el metal más abundante en su tejido fue el Pb y el más escaso el Cu. El Cd y el Cu mostraron un patrón estacional de acumulación, más no el Pb, el cual parece ser transferido al agua de mar por fuentes antrópicas (Barría y Barría, 2004).

4. El autor atribuye como posible causa de este hallazgo una contaminación con diésel durante el almacenamiento de este combustible en la lancha de trabajo.

Figura 9. Infografía N° 32 del PNSH 2015:2050. Proyecciones de recuperación de cobertura boscosa en Panamá a través del plan "Alianza por el Millón de Hectáreas Reforestadas"



Fuente: MiAMBIENTE, 2016b.

Estudios en el Río Juan Díaz, el cual desemboca en la Bahía de Panamá, arrojaron concentraciones de Cr que van desde 0,3 a 0,7 ppm. Las concentraciones de Zn y Cu fueron de 4,302 ppm y 0,296 ppm, ambas por debajo de los valores de la norma (5,0 ppm y 3,0 ppm, respectivamente) (De Gracia-Nieto, 2003). En el caso del Cd y el Pb no se pudo hacer una comparación con la norma (De Gracia-Nieto, 2003). Sin embargo, para el caso del Pb, aquéllas no superaron el valor de 1,0 ppm.

4.4 Deforestación

La cobertura boscosa es primordial para la salud de las cuencas y la calidad de agua de éstas. Una cuenca deforestada significa tiempos de concentración más bajos y mayor cantidad de sedimentos que llegan a los ríos, desmejorando su calidad. Igualmente, disminuye la evapotranspiración, haciendo la cuenca más vulnerable a eventos extremos. En las figuras 9 y 10, tomadas de las infografías 32 y 33 del PNSH 2015-2050 (MiAMBIENTE, 2016b), se aprecia la recuperación de cobertura boscosa esperada en las cuencas de los diferentes ríos del país con la aplicación de la Iniciativa Público-Privada denominada "Alianza por el millón de Hectáreas Reforestadas" (**Figura 9**), así como la situación de cobertura boscosa actual por cuenca (**Figura 10**).

Es importante recalcar que la situación de cobertura boscosa está dentro del alcance del país revertirlo con compromisos a mediano y largo plazos, y políticas cónsonas con un desarrollo sostenible.

4.5 Aguas servidas

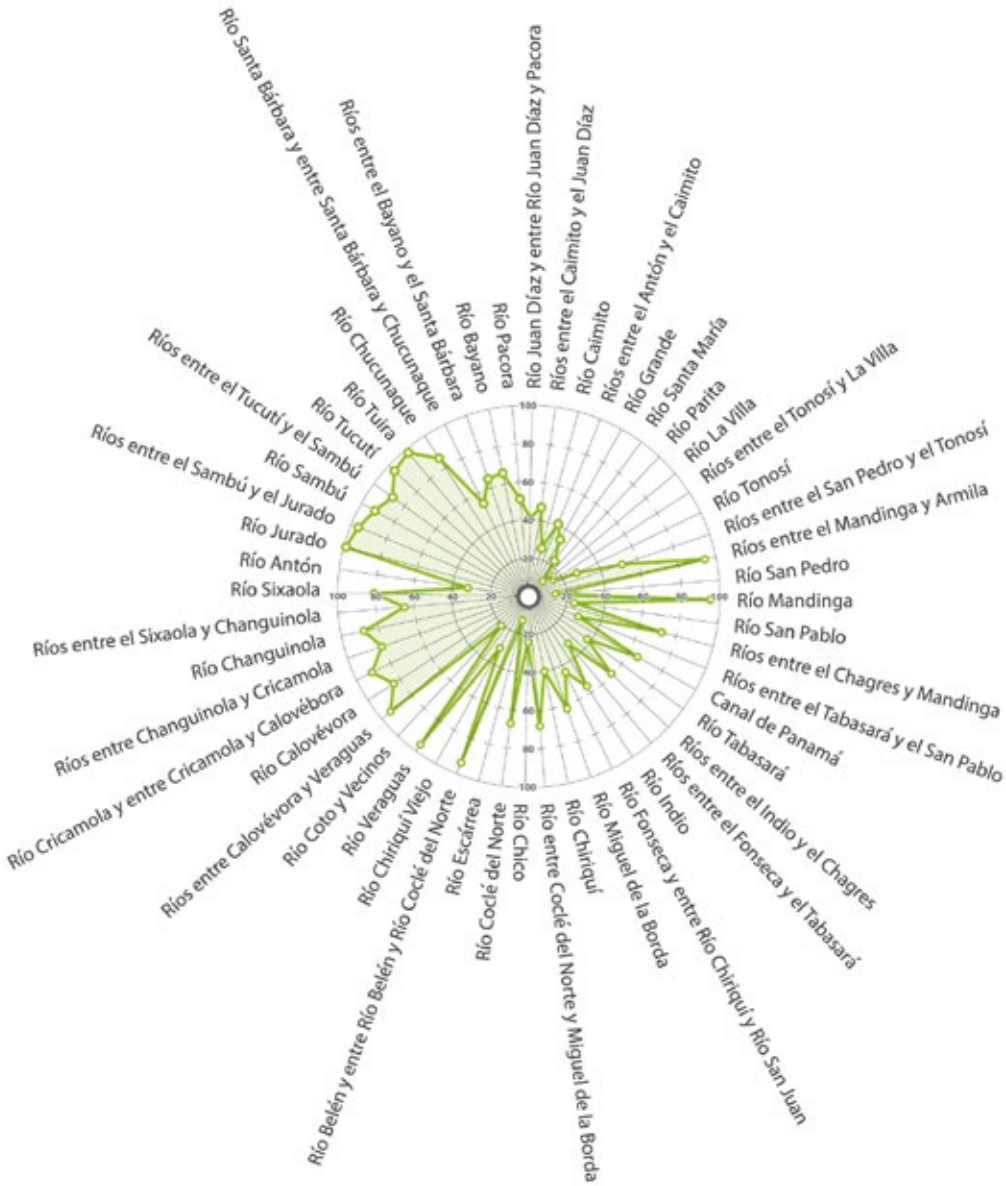
Antecedentes. Según proyecciones del Instituto Nacional de Estadística y Censo de la Contraloría General de la República de Panamá (INEC, 2012), para el año 2015 se estimó que la población panameña alcanzaría 3,98 millones de personas, con 67% (2,66 millones) concentrado en zonas urbanas y el restante 33% (1,31 millones), en zonas rurales (UNICEF, 2016).

Al realizar un análisis comparativo sobre la cobertura de agua potable y saneamiento en Panamá a nivel nacional, se observa que la población total desatendida se ha visto considerablemente reducida durante las tres últimas décadas. De 1990 a 2015, el porcentaje de la población con acceso a fuentes de agua potable mejoradas[5] aumentó 11%, llevando la cobertura de este servicio de 84 a 95% (98 y 89% en poblaciones urbanas y rurales, respectivamente), mientras que el acceso a servicios mejorados de saneamiento[6] ascendió a 16%, pasando de 59 a 75% (84 y 58% en poblaciones urbanas y rurales, respectivamente) (UNICEF & OMS, 2015). Estas diferencias

5. De acuerdo con la OMS (http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2012/fast_facts/es/), una fuente de agua potable mejorada es una fuente que, por el tipo de construcción, protege apropiadamente el agua de la contaminación exterior, en particular de la materia fecal.

6. De acuerdo con el Banco Mundial, éstas incluyen, además de los servicios sanitarios (hacia sistemas de alcantarillado, tanque séptico o letrina de pozo), soluciones como letrina de pozo mejorada ventilada al ras, letrina de pozo con losa e inodoro de compostaje (http://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.ACSN.UR).

Figura 10. Infografía N° 33 del PNSH 2015:2050 en donde se muestra la situación actual de cobertura boscosa en las cuencas de nuestros ríos



Fuente: MiAMBIENTE, 2016b.

podrían deberse a lo dispersa que se encuentra la población rural en el país, a la falta de inversiones en el área rural y a la falta de metas establecidas para este sector (DISAPAS, 2013). Sobre el porcentaje de aguas residuales que son tratadas en Panamá, hay pocos datos disponibles. Autores como Lentini (2011) situaban a Panamá junto con Bolivia, Colombia, Perú y Venezuela con entre 20 y 30% de tratamiento de sus aguas servidas. Aunque con la entrada en operación en 2013 de la primera fase de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual de Juan Díaz, que actualmente recibe 2,2 m^3/s, este porcentaje ha aumentado de entre 5 a 10% (Programa de Saneamiento de Panamá, 2017).

Causas de la limitada infraestructuras de saneamiento en Panamá

Lo complejo de la problemática que representan las aguas residuales y su tratamiento a nivel nacional se debe a la interdependencia de factores. Por ejemplo, durante los últimos 60 años, la población se ha cuadruplicado, con la proporción urbana multiplicándose en más de 7 veces durante el mismo período (DISAPAS, 2014). Esto ha traído consigo, entre otras cosas, el rezago en el abastecimiento continuo y la calidad de los servicios de agua potable y saneamiento, en especial, el tratamiento de las aguas residuales (Mejía y Rais, 2012).

Históricamente, los gobiernos, con la formulación de leyes y la creación de instituciones, han introducido políticas y estrategias para hacer frente a las necesidades del subsector de agua potable y saneamiento. Como se mencionó en el acápite 2, instituciones como el IDAAN, MINSA, la ASEP y MiAMBIENTE tienen a su cargo el manejo de distintos aspectos del sector. Sin embargo, hace falta una mejor definición de roles institucionales, lo cual se refleja en la duplicidad de roles en rectoría y servicios, y en vacíos en materia de regulación (DISAPAS, 2014). Igualmente, las aguas residuales y su tratamiento han estado sujetos a la visión y criterio de las autoridades políticas en cada período de gobierno. Como consecuencia, la legislación vigente relativa al alcantarillado sanitario y el control de vertido de cargas contaminantes a los cuerpos de agua, no es aplicada por falta de reglamentación (Quiroz, 2004). En el caso de las aguas residuales, la aprobación en el año 2000 de las normas COPANIT[7] (actualmente en revisión) ha logrado regular este subsector.

Por otro lado, las inversiones destinadas a la recolección y tratamiento de las aguas residuales habían sido mínimas hasta el año 2003, cuando se inicia el Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y la Bahía de Panamá, con una inversión superior a los 600 millones de dólares. Esta falta de inversiones contribuyó significativamente a la marcada insuficiencia de infraestructuras de saneamiento y a las graves deficiencias en la infraestructura existente, principalmente en las cabeceras distritales del país. En las décadas de 1970 y 1980 se construyeron algunos sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR) que, hoy día, se encuentran colapsados debido a la falta de los recursos necesarios para garantizar su correcta operación y mantenimiento (DISAPAS, 2014). Los STAR construidos posteriormente a los Reglamentos Técnicos DGNTI- COPANIT del año 2000, se encuentran sujetos a las mismas condiciones.

El IDAAN, como principal prestador del servicio de saneamiento urbano con 47,8% de cobertura, es la entidad encargada de recibir, operar y mantener en óptimas condiciones todas las STAR entregadas por parte de los promotores de proyectos urbanísticos y de instituciones estatales que desarrollan y promueven este tipo de proyectos (Decreto Ejecutivo N° 268 de 2008). Sin embargo, debido a limitaciones financieras, ha resultado casi imposible que la entidad pueda asumir dicho rol. Esto ha provocado que, en ciertos casos, los promotores cedan la responsabilidad de operación a los propietarios, lo que ocasiona problemas de manejo y mantenimiento, hasta que finalmente los STAR terminan colapsando (Silva, 2014). Aunado a esta situación, el IDAAN no hace efectivo el cobro de tarifas sanitarias asociadas a la prestación del servicio de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales, que ayuden a subsanar los costos de operación de éstos.

Proyecciones para el sector de agua potable y saneamiento

Durante los últimos años se han realizado grandes esfuerzos por aumentar y mejorar los servicios de agua potable y saneamiento en todo el país, y se han programado considerables inversiones para el saneamiento, en especial, la recolección y tratamiento de las aguas residuales. Actualmente, se está destinando 18,9 % de la inversión pública al sector de agua potable y saneamiento, y 8,4% al sector de sanidad, lo que los convierte en áreas prioritarias dentro del Plan Estratégico de Gobierno (MEF, 2014). Para llevar a cabo esta inversión y lograr las metas propuestas, instituciones como el MINSA, el IDAAN y el Consejo Nacional para el Desarrollo Sostenible (CONADES) trabajan en conjunto, desarrollando proyectos de agua potable y saneamiento en todo el país.

Dentro de los programas ejecutados por las diferentes instituciones, podemos mencionar el Programa Saneamiento de Panamá (PSP), el cual depende jerárquicamente del MINSA y cuya meta es

7. Ver Tabla 1.

sanear las aguas residuales de los 23 corregimientos del distrito de Panamá y los 9 corregimientos del distrito especial de San Miguelito, así como también mejorar las condiciones sanitarias de los dos principales distritos de la provincia de Panamá Oeste: Arraiján y La Chorrera (PSP, 2017). También están el Programa Sanidad Básica de CONADES, que tiene como meta para el año 2020 construir 300 mil baños higiénicos en aquellas viviendas que cuenten con letrinas, y el Programa Complementario de Agua y Saneamiento, creado para atender las demandas de los sistemas de acueductos y alcantarillados de la Ciudad de Panamá que no han podido ser cubiertas, entre otros (CONADES, 2014).

El Ministerio de la Presidencia, a través del CONADES, también realiza proyectos de rehabilitación y mejoras de lagunas de oxidación, construcción de redes sanitarias y STAR y sistemas de alcantarillados en diversas comunidades del interior del país (CONADES, 2017). Por su parte, el IDAAN tiene prevista la construcción de sistemas de alcantarillado en diversos distritos y cabeceras de provincia. Algunos de estos proyectos incluyen la construcción del STAR correspondiente (IDAAN, 2016).

Por último, en el año 2015 entró en vigor el Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH), que a través del CONAGUA busca coordinar y accionar los esfuerzos interinstitucionales relacionados con el sector hídrico. En este sentido, el CONAGUA indica que el PNSH 2015:2050 contempla a corto plazo (2015-2019) la construcción de nuevos STAR a nivel nacional (MiAMBIENTE, 2016b).

5. Meta de Desarrollo Sostenible 6

5.1 Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación

En 2016, los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) fueron sustituidos por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que son más amplios y fáciles de alcanzar por los países en desarrollo. Según el profesor Jeffrey Sachs, "el mundo ha entrado en una nueva era, ciertamente, una nueva época geológica, en la que la actividad humana está desempeñando un papel amenazante en la dinámica básica de la Tierra" (Sachs, 2012).

La creciente población urbana, junto con los más complejos problemas de contaminación del aire, agua y suelo, han hecho necesario que las ciudades pongan en práctica un Sistema de Gestión Sostenible del Agua Urbana (SUWM, por sus siglas en inglés). Un factor clave para lo anterior es que se cuente con políticas y normas sobre el agua. La Ley para la Regulación de los Recursos Hídricos de Panamá, que se aprobó a mediados de la década de 1960 (MICI, 1966) no considera los elementos de sostenibilidad, ni la planificación urbana, ni la economía, ni los aspectos relativos al cambio climático. Todas estas variables deben tomarse en cuenta para lograr la sostenibilidad.

Las normativas relativas al uso del suelo y la calidad del aire no se han puesto en vigor (MEF, 2009a, b, c). Por otro lado, las normativas relativas a la calidad del agua han estado vigentes desde 1999 (véase **Tabla 1**) y, hace poco tiempo, la construcción de una mega Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ha contribuido a reducir la descarga de efluentes en la Bahía de Panamá y mejoró en parte la calidad de la mayoría de las cuencas fluviales. El Gobierno planea la construcción de otra PTAR a corto plazo. Según las autoridades, se prevé implementar un programa de monitoreo de calidad del agua en algunos ríos y arroyos en 2017 (Molina, 2017).

Debido al crecimiento demográfico en la Ciudad de Panamá, la degradación de los ecosistemas fluviales urbanos ha puesto en peligro el propio desarrollo urbano sostenible. Un reciente estudio económico realizado en China (Chen, 2017) revela que el valor de las propiedades aumenta casi 5% si los ríos se pueden regenerar mediante la remoción de las estructuras de concreto que se construyeron en el pasado para corregir sus cursos, así como si se ponen en marcha prácticas "verdes" en las riberas de éstos y se mejora la calidad final del agua a través del restablecimiento de las condiciones ambientales iniciales.

Se seleccionó la Ciudad de Panamá para participar en la iniciativa del Banco Internacional de Desarrollo (BID) conocida como "Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles" (BID, 2017). Uno de los tres pilares de este Programa se centra en aspectos ambientales como el agua, la calidad del aire, la energía, las emisiones de gases de efecto invernadero, y el ruido y manejo de residuos sólidos, culminando en la recuperación de los espacios de la ciudad para convertirlos de nuevo en centros sostenibles. La Municipalidad de Panamá lanzó el plan

piloto en 2015, que incluye un municipio de alta densidad (Exposición-Calidonia), una antigua zona logística e industrial (Curundú) y el distrito bancario (http://mupa.gob.pa/intervenciones-urbanisticas). También creó un Laboratorio Urbano para garantizar la participación de las universidades en los procesos de planificación urbana.

5.2 Aumento de la eficiencia en el uso del agua

El Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) 6.4 es "aumentar de forma significativa la eficiencia en el uso del agua en todos los sectores, garantizar la extracción sostenible y el suministro de agua dulce para abordar el problema de escasez de agua, y reducir de forma considerable el número de personas que sufren por la escasez de este líquido para 2030" (http://datatopics.worldbank.org/sdgatlas/sustainable-development-goals.html).

La precipitación anual promedio de Panamá es de 2928 mm (http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?name_desc=true&view=map). Su economía depende principalmente del Canal de Panamá cuya actividad depende del agua. Por cada barco que atraviesa el Canal, se utilizan 55 millones de galones de agua dulce que se vierten en los océanos. El Canal de Panamá se amplió hace poco con la construcción de un tercer juego de esclusas. Un factor clave de este proyecto fue la preservación de los recursos hídricos mediante un sistema de reciclaje y la optimización de la eficiencia futura, al reducir el uso total del agua en cada nueva esclusa, en el 7% del consumo en una vieja esclusa (http://eird.org/americas/news/the-panama-canal-example-of-sustainability-and-water-use-efficiency.html#.WRmjj-UjGyI). Es necesario atender la relación entre el agua potable, las aguas residuales y las aguas pluviales para restablecer el ciclo urbano del agua (Hoban y Wong, 2006).

La reutilización de las aguas residuales y la gestión de aguas pluviales son elementos cada vez más importantes y necesarios para lograr la eficiencia en el uso del agua. Un importante avance en Panamá ha sido su liderazgo en Diseño Energético y Ambiental (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) o certificación LEED (por sus siglas en ingles) para edificios e infraestructuras. En Panamá, esta iniciativa de construcciones ecológicas se ha visto respaldada por la Ley sobre Uso y Regulación Racional y Eficiente de la Energía (UREE) desde 2012 (Secretaría Nacional de Energía, http://www.energia.gob.pa/). La Secretaría Nacional de Energía es la institución gubernamental responsable de su implementación. Panamá cuenta actualmente con 94 proyectos esperando que se les otorgue el certificado LEED y 23 edificios en diversas categorías que ya han sido certificados (Pellicer, https://noticias.gogetit.com.pa/edificios-verdes/). Panamá también forma parte del World Green Building Council (Consejo de Construcciones Ecológicas), una red global de más de 70 Consejos de este tipo en todo el mundo (World Green Building Council, http://www.worldgbc.org).

En el entorno rural, el Ministerio de Agricultura (MIDA) ha llevado a cabo iniciativas para implementar el uso de la recolección de agua de lluvia para su uso en la agricultura y la ganadería. Sin embargo, al día de hoy todavía hacen falta regulaciones dirigidas a la gestión eficiente del agua en las redes de riego (http://www.fao.org/3/a-i3442s.pdf Panamá).

5.3 Manejo integrado del recurso hídrico a todos los niveles

Panamá ha iniciado una verdadera gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) tras el desarrollo, aprobación y ejecución de su Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH) 2015-2050: Agua para todos y la creación por Resolución de Gabinete N° 114 del 23 de agosto de 2016, de la entidad responsable de darle seguimiento, es decir, el CONAGUA.

El PNSH se construyó después de una consulta a nivel nacional y los aportes de más de 1.500 personas. Este Plan Nacional cuenta con cinco metas a fin de lograr como objetivo último que el agua mejore la calidad de vida, respalde el crecimiento económico inclusivo y asegure la integridad del ambiente en el país. Estas metas son: 1) Tener acceso universal al agua de calidad y servicios de saneamiento; 2) Agua necesaria para el crecimiento económico inclusivo; 3) Gestión preventiva de riesgos; 4) Cuencas hidrográficas saludables, y 5) Sostenibilidad hídrica (Marco normativo e institucional y educación y concientización). El PNSH contempla acciones de corto, mediano y largo plazo que han sido identificadas obedeciendo un enfoque de GIRH. Este enfoque se entiende en tres niveles de integración. Un primer nivel dentro de cada sector usuario del agua debe

Recuadro 1. Micro plástica (Autora: Denise Delvalle)

Origen: En 1935, Wallace Carothers de DuPont Enterprises inventó el primer polímero sintético y lo llamó nylon. Hoy día, los siguientes tipos predominan en el mercado: polietileno (PE, alta y baja densidad), tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS, incluido EPS expandido) y poliuretano (PUR). La actual producción de plásticos en el mundo es de aproximadamente 300 millones de toneladas métricas anuales (Rocha Santos y Duarte, 2017). Más de siete décadas después de su invención, los científicos calculan que alrededor de 4.8 a 12.7 millones de toneladas métricas de plástico terminan en los océanos (Rocha Santos y Duarte, 2017). Es difícil calcular la cifra exacta porque los plásticos se degradan constantemente en condiciones fisicoquímicas (radiación, erosión, viento, temperaturas, fricción, acidez, productos químicos) en fragmentos más pequeños llamados microplásticos o nanoplásticos. Los microplásticos se definen como pequeñas partículas de plástico o fragmentos de menos de 5 mm de diámetro. Los microplásticos primarios se fabrican con fines industriales y domésticos y se agregan a cosméticos y productos de cuidado personal. Los microplásticos secundarios son resultado de los efectos del clima y la fragmentación de objetos plásticos más grandes. También podemos clasificar los plásticos por su origen a partir de objetos plásticos más grandes (macroplásticos) de fuentes terrestres y de fuentes marinas como la pesca y el sector marítimo, incluida su utilización en procesos de mantenimiento, como abrasivos para granallado en astilleros. Los microplásticos no son detectados por las plantas de tratamiento de aguas residuales, con importantes diferencias en su concentración y una variedad de distribuciones. Los nanoplásticos se encuentran en el rango de tamaño <100 nm, que es invisible al ojo humano, pero se encuentra presente en los sistemas digestivos y los tejidos musculares de microorganismos bentónicos y marinos.

Uso, producción y reciclaje del plástico en Panamá: El uso de productos plásticos en Panamá se calcula en 54.6 (miles de toneladas), siendo los más comunes los productos PET. La producción promedio para el período 2013-2014 se estimó en 2.3% de la producción total de las industrias manufactureras nacionales (Empresa Ambiental Gatún https://empresaambientalgatun.wordpress.com/category/plastico/). Sin embargo, existen ocho llamadas "Empresas de reciclaje en Panamá", la mayoría de las cuales exportan plásticos a otros países, Plastiglas, SA y Reciclas (SIP, 2009), que son las únicas que reciclan este producto. A nivel global, se calcula que sólo 5% del plástico producido se recicla, una pequeña cantidad se reutiliza, aproximadamente la mitad se entierra en vertederos y el resto termina en el medio ambiente para, finalmente, introducirse en los ecosistemas acuáticos. De acuerdo con la Contraloría General de la República, entre 1997 y 2010, Panamá exportó 42 millones de kg (peso neto) de materiales plásticos usados (Rivas, 2011). Hace poco tiempo, la Autoridad de Aseo Urbano Domiciliario (AAUD) lanzó un proyecto financiado por una empresa privada para recolectar botellas de PET en lugares públicos (Rodríguez, 2016).

Impacto de los microplásticos: Los impactos se encuentran estrechamente relacionados con las propiedades químicas de los polímeros plásticos. Por ejemplo, pueden absorber contaminantes orgánicos persistentes en su superficie, filtrarlos al agua, transportar bacterias dañinas, alterar cadenas completas de alimentos en los ecosistemas marinos y bioacumularse en el tejido muscular de los peces y otros productos del mar. En 2017, la Universidad Tecnológica de Panamá lanzó un proyecto de investigación para calcular una línea base nacional de micro plásticos presentes en sedimentos y agua. El proyecto comenzó a tomar muestras en la cuenca del Canal de Panamá, en lugares de los océanos Atlántico y Pacífico, y se extenderá a otras provincias durante su segunda fase. También analizará muestras de agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan Díaz, para poder determinar el volumen de micro plásticos primarios en las aguas residuales del país. La cantidad de este contaminante emergente que ingresará en el océano dependerá en gran medida del alcance y la eficacia del tratamiento de las aguas residuales. La recolección de desechos sólidos es decisiva para evitar que ingresen más plásticos a los océanos. La gestión de residuos deberá tener en cuenta el ciclo de vida de los plásticos y crear estrategias de acuerdo con los modelos de economía circular respaldados por nuevas y mejores normas relativas al uso de plásticos en el país.

considerar acciones en tres sentidos: gestión de la oferta (protección de fuentes de agua[8] y desarrollo de infraestructura hídrica[9]), gestión de la demanda (educación,[10] regulación,[11] mecanismos financieros) y desarrollo de capacidades (desarrollo de recursos humanos, sistemas de información,[12] mejoramiento de procesos,[13] entre otros); un segundo nivel de integración se refiere a la coordinación de las acciones multisectoriales y es justamente en este nivel en donde se desenvuelve el CONAGUA.[14] En este nivel se coordinan acciones relacionadas con varios sectores, como son los estudios de factibilidad y prefactibilidad para el establecimiento de embalses multipropósito en 6 cuencas del país (ríos Bayano, Indio, Santa María, La Villa, Parita y la subcuenca del Río Perales), protocolos para mejorar el intercambio de información entre instituciones sectoriales con respecto a las tomas de agua superficiales y subterráneas (ubicación de pozos), control y registro de usuarios y concesiones de agua.

El tercer nivel de integración de la gestión del agua está relacionado con el resto de los poderes del Estado. En Panamá, además del poder Ejecutivo, la Asamblea Nacional de Diputados ha adoptado el tema del agua en su agenda de trabajo e impulsa numerosas iniciativas tendentes a mejorar la gobernanza del recurso. Ejemplos de estas iniciativas son la actualización de la Ley de Agua de 1966 y la modernización del marco legal del principal proveedor de agua en el país. En la gobernanza del agua es necesario también comprender cómo se presentan niveles de gestión diferenciados por escala territorial, a fin de que se reconozca legalmente lo que funciona y se fortalezca o se busquen alternativas.

El primer nivel de manejo del agua es el privado, el doméstico. En este nivel, todas las personas sin excepción deciden sobre el uso eficiente, contaminación y pago, ya sea en casa, industria, etcétera. También en este nivel, en Panamá, es que se tiene la mayor parte de los sistemas de riego, es decir, al nivel de finca. Una forma de integración, por ejemplo, que sería siguiendo la escorrentía de la cuenca, aún está pendiente,[15] aunque para este propósito se impulsan trabajos como los ya mencionados que realiza el MiAMBIENTE a través de la ACP.

A nivel comunitario en el área rural, la labor de las JAAR ha sido reconocida en la legislación pa-

8. Programa Alianza por el Millón de Hectáreas: Programa emblemático de MiAMBIENTE, que tiene la meta de reforestar un millón de hectáreas a 2025, con la participación amplia de la sociedad y el sector privado. MIAMBIENTE también avanza en la elaboración de balances hídricos detallados en las cuencas de La Villa, Santa María, Río Grande, Chiriquí, Chiriquí Viejo y Chico. Con estos estudios, Panamá estará en capacidad de ordenar las prioridades de uso del agua, usando altos estándares científicos y aplicando criterios de equidad, solidaridad, inclusión y sostenibilidad.

9. La ACP realiza, por encargo de MiAMBIENTE, estudios de factibilidad y prefactibilidad para el establecimiento de embalses multipropósito en 6 cuencas del país (cuencas de los ríos Bayano, Indio, Santa María, La Villa, Parita y la subcuenca del Río Perales). Por otra parte, instituciones como IDAAN, CONADES, Saneamiento de Panamá y otros, implementan también proyectos de inversión en agua y saneamiento. El Ministerio de Desarrollo Agropecuario, por su parte, impulsa la construcción de abrevaderos, reservorios, minipresas y sistemas de riego.

10. Diferentes instituciones han lanzado programas tendientes al ahorro del agua y a la no contaminación, como Guardianes del Agua, un programa diseñado por IDAAN para ser implementado en colegios; paralelamente, CONAGUA estará lanzando una campaña educativa en radio y redes sociales en línea con lo que establece el Plan Nacional de Seguridad Hídrica, a cerca de fomentar la cultura del agua.

11. En Panamá existe un amplio marco regulatorio referente a usos y descargas de agua que se describe en el apartado 2 de este capítulo.

12. Dentro del PNSH se ha anticipado la necesidad de fortalecer el recurso humano en temas relacionados con la gestión del agua; en ese sentido, el Instituto para la Formación y Aprovechamiento de Recursos Humanos (IFARHU) impulsa el "Concurso de carreras prioritarias" que incluye becas de licenciatura y maestrías en temas de hidrología, recursos hídricos, manejo de cuencas, entre otros.

13. CONAGUA lidera la creación del Sistema Nacional de Información Hídrica y ha propiciado que 19 instituciones se comprometan a compartir información y a ponerla a disposición para la toma de decisiones de cualquier interesado. Se prevé que el sistema de información integre información de aguas subterráneas y superficiales, en cuanto a cantidad, como de calidad.

14. El Consejo Nacional del Agua (CONAGUA) lo preside el Ministerio de Ambiente y lo integra el Ministerio de Salud (rector del subsector de Agua Potable), el Ministerio de Desarrollo Agropecuario, el Ministerio de la Presidencia, el Ministerio de Economía y Finanzas, la Autoridad de los Servicios Públicos, la Autoridad del Canal de Panamá y el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales.

15. Algunos sistemas están operando con diversas dificultades, como el Remigio Rojas en la Provincia de Chiriquí, el cual sufre de desabasto de agua, sedimentación y problemas de distribución y acceso a las fincas.

nameña por el Decreto Ejecutivo Nº 1839 del 5 de diciembre de 2014, que dicta su marco regulatorio como organismos co-responsables con el estado de la administración, operación, mantenimiento y ampliación de los sistemas de abastecimiento de agua potable rural, atendiendo poblaciones de hasta 1.500 personas. Éstas son atendidas por la Dirección del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (DISAPAS).

Subiendo en la escala territorial, los municipios se han ido fortaleciendo poco a poco a partir de la Ley de Descentralización N° 66 (de 2015), la cual establece que se podrán destinar recursos procedentes del impuesto de inmuebles a áreas como acueductos, manejo de residuos y otras que afectan a los recursos hídricos. Tradicionalmente, la población recurre a los municipios como el primer sitio para encontrar soluciones a sus problemas; de ahí su gran potencial como pilares de una buena gestión del agua. El fortalecimiento de la gestión municipal ha comenzado a impulsarse desde la Secretaría de Descentralización en coordinación con la Asociación de Municipios de Panamá (AMUPA).

A nivel metropolitano se ha ido fortaleciendo la Unidad de Saneamiento de Panamá, estando a cargo de la ampliación de redes de alcantarillado, construcción de colectoras de aguas residuales y operación de la planta de tratamiento para dar servicio a los municipios de Panamá, San Miguelito, Arraiján y La Chorrera. Actualmente se elabora una propuesta de Ley que le permita mantener el alto estándar de desempeño logrado a la fecha (triplemente acreditada por ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001).

A escala de cuenca, el MiAMBIENTE formaliza la gestión del recurso a través de organismos de cuenca. En este sentido, ya se han formalizado 23 comités de cuencas, de los cuales 6 ya tienen Planes de Manejo y 2 cuentan con Planes de Ordenamiento como instrumentos de gestión. El mandato de los comités de cuencas y las herramientas de ordenamiento se basan en la Ley 44 del 5 de agosto de 2002 y su reglamento a través del Decreto Ejecutivo 479 de 2013.

Una escala regional o subnacional tiene que ver con una zonificación por regiones climáticas. En esta escala también se suelen establecer sistemas de manejo ligados con la protección de ecosistemas, por ejemplo, en áreas protegidas, las cuales tienen directas implicaciones en la conservación de las fuentes hídricas. Panamá cuenta con 89 áreas protegidas, con una superficie equivalente a 34,43% del territorio nacional. Estas medidas se ven reforzadas por la aprobación del texto de Decreto Ejecutivo que crea el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en enero de 2007, y la Ley 41 de 1998 (General de Ambiente) y la Ley 8 de 2015 (que crea el MiAMBIENTE).

Por otra parte, también dentro del nivel de paisaje, se encuentra el Programa de Acción Nacional (PAN) de Lucha Contra la Sequía y la Desertificación alineado con la estrategia decenal de la UNCCD,[16] que incluye un diagnóstico y un plan de acción ya en ejecución para las áreas críticas: Cerro Punta, Sabana Veragüense, Comarca Ngäbe-Buglé y Arco Seco.

A nivel nacional o centralizado está el IDAAN como principal proveedor de agua potable. Las políticas del sector energético (incluyendo el hidroeléctrico) se dictan desde la Secretaría de Energía. Ambos servicios (agua y energía) son regulados por la Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP). Otro aspecto de la gestión del agua está relacionado con riesgos y este tema lo encabeza el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC).

En el marco internacional, Panamá cuenta principalmente con dos grandes cuencas transfronterizas con Costa Rica (Sixaola y Changuinola). Para la cuenca del Sixaola se constituyó en 2009 la Comisión Binacional de la Cuenca del Río Sixaola (CBCRS) como una Comisión Técnica Binacional Especial, aprobada en el marco del Convenio entre el Gobierno de la República de Costa Rica y el Gobierno de la República de Panamá sobre Cooperación para el Desarrollo Fronterizo, ratificado mediante la Ley N° 7518 del 10 de julio de 1995 en Costa Rica y Ley N° 16 del 10 de agosto de 1994 en Panamá. Esta Comisión ya cuenta con su reglamento de funcionamiento.

Finalmente, se pueden mencionar los acuerdos y avances que tiene Panamá dentro de los compromisos asumidos como miembro de la Convención Marco de las Naciones Unidas para Cambio Climático.[17] En este sentido, Panamá cuenta con una Estrategia Nacional de Cambio Climático que comprende 11 aspectos y posee un plan de reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero, según se indi-

16. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.

17. Reconociendo que la Seguridad Hídrica es el corazón de la adaptación del cambio climático.

ca en el documento "Contribución Nacionalmente Determinada a la Mitigación del Cambio Climático (NDC) de la Republica Panamá ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)" (MiAMBIENTE, 2016a).

6. Conclusiones

A pesar de ser un país con abundantes recursos hídricos, Panamá presenta una serie de problemas estructurales en el contexto de la calidad del agua. Una población urbana en rápido crecimiento y un desarrollo económico igualmente vertiginoso ponen una presión muy alta al país para estar al día en la construcción de una infraestructura adecuada para saneamiento. Adicionalmente, la presión sobre la calidad del agua en nuestros ríos y lagos se hace cada vez mayor. Todo esto unido a una mala distribución de los recursos hace que la mayoría de las oportunidades se concentren en el área metropolitana, haciendo falta más polos de desarrollo en el país.

En relación con la calidad del agua, 80% de nuestras cuencas tiene un ICA equivalente a una calidad de agua aceptable o poco contaminada. Sin embargo, los ríos que pasan por la Ciudad de Panamá tienden a tener calidades de agua buenas en su parte alta, las cuales se van deteriorando en sus secciones media y baja. Para el caso del Canal de Panamá, la calidad del agua de los embalses y ríos es de buena a excelente

En relación con el tema de salud, el dengue sigue siendo el principal problema de salud relacionado con el agua, aunque en los últimos años se ha visto una disminución sostenida en el número de casos nuevos. Similar comportamiento se ve en el Chikungunya, que luego de alcanzar un pico en 2015, ha estado disminuyendo en los últimos años.

En cuanto al tema de metales pesados se pudo observar que la mayor parte de los estudios colocan al plomo y al cobre como los principales contaminantes en ecosistemas. Otro punto importante es que muchas de las investigaciones se han realizado en manglares.

En el tema de mejoramiento de las condiciones de saneamiento en el país es importante recalcar la importancia que cada vez más adquiere el tema del agua. Las inversiones en el país pueden apreciarse tanto en nuevas potabilizadoras, plantas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de alcantarillados en las principales cabeceras de provincia. Si bien el Plan Nacional de Seguridad Hídrica es un paso en la dirección correcta debe revisarse periódicamente.

De igual manera, debe reforzarse el tema de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, idealmente a nivel de cuencas, como la forma más sostenible en el tiempo de mantener nuestros cuerpos de agua superficiales en buen estado. En términos del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible es importante que todos comprendamos mejor los retos a los cuales nos enfrentamos (cambio climático, crecimiento demográfico, etcétera). Así, corresponde al Estado proponer un marco regulativo moderno y destinar recursos no sólo a la construcción de nuevas obras, sino también al mantenimiento de la infraestructura existente.

Referencias bibliográficas

Álvarez, D.; Pineda, V.; Mendoza, Y.; Santamaría, A.; Pascale, J.M.; Calzada, J.; Saldaña, A. (2010). *Identificación y Caracterización molecular de las especies* Cryptosporidium sp *circulantes en niños menores de cinco años de diversas regiones de Panamá.* Tesis de grado de Maestría en Ciencias Biomédicas con Especialización en Parasitología. Panamá: Facultad de Medicina, Universidad de Panamá.

Arosemena, V.; Castillo, C. y Guerra G. (2013). *Detección de parásitos en los moradores del Río Chagres y sus fuentes de Contaminación ambiental.* Trabajo de graduación. Panamá: Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Escuela de Biología, Universidad de Panamá.

Autoridad del Canal de Panamá (ACP) (2010a). Calidad de Agua en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP). En: *Agua y Bosques en la Cuenca del Canal: Tendencias a largo plazo,* pp. 52-94.

Autoridad del Canal de Panamá (ACP) (2010b). *Informe de Calidad de Agua 2008-2009.* Panamá: División de Agua, Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad del Canal de Panamá (ACP) (2016). *Informe de Calidad de Agua 2015.* Panamá: División de Agua, Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad Nacional de Ambiente (ANAM) (2013). *Informe de monitoreo de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de Panamá.* Compendio de resultados 2009-2012. Panamá: ANAM.

Autoridad Nacional de Ambiente (ANAM) y Convention on Biological Diversity (2014). Quinto informe nacional de biodiversidad de Panamá ante el convenio sobre diversidad biológica. Panamá: ANAM.

Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP) (2016). Datos obtenidos en entrevista con el Ing. Carlos Gómez de la ASEP, el 7 de marzo de 2017.

Barría, F. y Barría, S. (2004). *Contaminación por metales pesados (Zn, Cu y Cd) en sedimentos marinos.* Tesis de licenciatura. Panamá: Universidad de Panamá.

Benali, I., Boutiba, Z. Merabet, A. & Chèvre, N. (2015). Integrated use of biomarkers and condition indices in mussels (*Mytillus galloprovincialis*) for monitoring pollution and development of biomarkers index to assess the potential toxic of coastal sites. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 95(1), pp. 385-395.

Carlson, R. E. & Simpson, J. (1996). *A Trophic State Index. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods.* North American Lake Management Society. 96 pp. Recuperado de http://dipin.kent.edu/tsi.htm

Chen, A. (2017). *Estudio comparativo entre el Artificial mussel y el Bioindicador* Anadara tuberulosa *para la determinación de cadmio, cobre y cromo en la zona costera de Soná, provincia de Veraguas, República de Panamá.* Tesis de doctorado. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.

Chen, A y Broce, K. (2015). Artificial Mussel: Una herramienta complementaria para el monitoreo de la contaminación por elementos traza en zonas costeras. *Prisma Tecnológico*, vol. 6: (1), pp. 24-28.

Chen, WY (2017). Environmental externalities of urban river pollution and restoration: A hedonic analysis in Guangzhou (China). *Landsc Urban Plan* 157:170-179

Clark, M. (2015). Presencia de *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle 1839, en el lago Gatún (Canal de Panamá). Informe del Programa de Control de Vegetación Acuática (OPPD-C/AF-14). Panamá. Autoridad del Canal de Panamá. *Documento de uso interno con permiso de IANAS para ser publicado.*

Consejo Nacional para el Desarrollo Sostenible (CONADES) (2014). *Programa de Sanidad Básica 100/0.* Panamá: CONADES. Recuperado de http://www.conades.gob.pa/Programas/Programa-de-Sanidad-Basica-1000

Consejo Nacional para el Desarrollo Sostenible (CONADES) (2017). Sección Noticias. Panamá: CONADES. Recuperado de http://www.conades.gob.pa/Noticias

De Gracia, L.E. (2003). Determinación de metales pesados y fenoles en el río Juan Díaz (tesis de licenciatura). Panamá: Universidad de Panamá.

Dirección del Subsector de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (DISAPAS) (2014). *Monitoreo de los Avances del País en Agua potable y Saneamiento (MAPAS).* Panamá: Ministerio de Salud. Recuperado de http://www.abes-sp.

org.br/arquivos/viissr/monitoreo-de-avances-de-pais-en-agua-y-saneamiento-luis-romero-quezada-conasa.pdf

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF)/Organización Mundial de la Salud (OMS) (2015). *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: Informe de actualización 2015 y evaluación de los ODM.* Recuperado de https://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMPreport_Spanish.pdf

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) (2016). *Estado Mundial de la Infancia 2016: Una oportunidad para cada niño.* Recuperado de https://www.unicef.org/spanish/publications/files/ UNICEF_SOWC_2016_Spanish.pdf

Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento (FOCARD-APS) (2013). Situación actual y perspectivas en *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales.* Panamá. 32 pp.

Gutiérrez, R.M. (1991). *Evaluation of an Integrated Control Method for the Aquatic Vegetation Management in the Panama Canal. Aquatic Vegetation and Oil Pollution Control Management Branch.* Dredgind Division. PCC. (Informe interno)

Hoban, A., & Wong, THF (2006). *WSUD resilience to Climate Change.* In: 1st International Hydropolis Conference. Perth, W.A.

IANAS (2015). Panama in Urban Water Challenges in the Americas. *Urban Waters.* Autores: Fábrega, JR, Morán, M, Flores, EL, Márquez, II, Ying, A, Saavedra, C, Olmedo, B, López, P. IANAS/UNESCO, pp. 448-473.

Instituto de Acueducto y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) (2012). *Boletín Estadístico* No. 26. 2010-2012.

Instituto de Acueducto y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) (2016). *Informe de Ejecución Físico-Financiera del Presupuesto de Inversiones.* Recuperado de https://idaan.gob.pa/wpcontent/uploads/2017/04/Proyectos_informe_fisico_financiero_enero_y_febrero_2017.pdf

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) (2006). *Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrientes.* Recuperado de http://www.cich.org/publicaciones/05/idiap-mapas-fertilidad.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) (2010). Diagnóstico de la población indígena de Panamá. Recuperado de http://www.contraloria.gob.pa/INEC/archivos/P6571INDIGENA_FINAL_FINAL.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) (2012). *Censo 2010.* Panamá: Contraloría General de la República/Censo de Población y Vivienda.

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) (2012). *Estimaciones y proyecciones de la población en la república, provincia, comarca indígena por distrito, según sexo y edad.* Boletín 15. Panamá: Contraloría General de la República. Recuperado de https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=10&ID_PUBLICACION=499&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=3

Jara, Y. (2012). *La vegetación acuática y su relación con la calidad de agua en diferentes puntos del embalse Gatún.* Informe de práctica profesional para optar por la Licenciatura en Biología. Panamá: Universidad de Panamá/ ACP-Unidad de Calidad de Agua.

Jaramillo, B.Y.Y. (2013). Estudio de la vegetación acuática mediante imágenes satelitales y datos de campo en el tramo medio del Río Chagres. Informe de práctica profesional para optar por la Licenciatura en Biología. Panamá: Universidad de Panamá/ ACP-Unidad de Calidad de Agua.

Lentini, E. (2011). *Servicios de agua potable y saneamiento: lecciones de experiencias relevantes.* Recuperado de http://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/lcw0392s.PDF

Margalef, R. (1983). *Limnología*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A. 1010 pp.

Maturell, J. y Salazar, A.J. (1994). *Aspectos de la introducción y diseminación del caracol gigante* Pomacea *sp., en el lado Gatún y sus efectos sobre la abundancia de* Hydrilla verticillata. XII Congreso Científico Nacional. Universidad de Panamá (21-23 marzo 1994). Pradepesca Informa. Temas de acuicultura, Nos. 4-5: pp. 29-33.

Mejía, A. y Rais, J. (2012). La infraestructura en el desarrollo integral de América Latina. Diagnóstico estratégico y propuesta para una agenda prioritaria. Agua y saneamiento. *IDeAL 2011.* Caracas: CAF-Banco de Desarrollo de América Latina.

Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE) (2016a). Contribución Nacionalmente Determinada a la Mitigación del Cambio Climático (NDC) de la Republica Panamá ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CM-

NUCC). Recuperado de https://www.slideshare.net/DanielDelgado2/contribucin-nacionalmente-determinada-a-la-mitigacin-del-cambio-climtico-ndc-panama-2016

Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE) (2016b). *Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos.* Panamá: MiAMBIENTE/CONAGUA/Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica.

Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) (s/f). *Atlas Social de Panamá.* Capítulo 3: Desigualdades en el acceso y uso del agua potable en Panamá. Autora: Liseth M. Tejada Soto. Panamá: MEF. Recuperado de http://www.mef.gob.pa/es/informes/Paginas/Atlas-Social.aspx

Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) (2014). *Plan Estratégico de Gobierno 2015-2019.* Recuperado de http://www.mef.gob.pa/es/Documents/PEG%20PLAN%20ESTRATEGICO%20DE%20GOBIERNO%202015-2019.pdf

Ministerio de Salud (MINSA) (2015). *Análisis de la situación de salud.* Panamá: MINSA. Recuperado de https://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicaciones/asis_2015.pdf

Ministerio de Salud (MINSA) (2017a) *Boletín epidemiológico Nº 11: Chikungunya.* Panamá: Ministerio de Salud-Dirección General de Salud-Departamento de Epidemiología. Recuperado de http://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicacion-general/ boletin_11_chikv_1_0.pdf

Ministerio de Salud (MINSA) (2017b). *Boletín epidemiológico Nº 11: Dengue.* Panamá: Ministerio de Salud-Dirección General de Salud-Departamento de Epidemiología. Recuperado de http://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicacion-general/boletin_11_dengue_1.pdf

Ministerio de Salud (MINSA) (2017c). *Boletín Epidemiológico Nº 11: Malaria.* Recuperado de http://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicacion-general/boletin_11_malaria_2.pdf

Ministerio de Salud (MINSA) (2017d). *Boletín Epidemiológico de Zika Nº 11.* Panamá: Ministerio de Salud-Dirección General de Salud-Departamento de Epidemiología. Recuperado de http://www.minsa.gob.pa/epidemiologia/zika-2017

Molina, U. *La Prensa online 2017.* Recuperado de http://impresa.prensa.com/panorama/Verificaran-calidad-rios-quebradas_0_4723777597.html

Montero, J.A. y Tenorio, D.L. (2010). *Análisis de metales pesados (Bb, Cd y Cu) en agua y sedimento durante las estaciones lluviosa y seca en Playa Bique, Arraiján.* Tesis de licenciatura. Panamá: Universidad de Panamá.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2004). *Agua, saneamiento y salud.* Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/facts2004/es/

Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS) y Ministerio de Salud (MINSA) (2016). *Análisis de la organización del Sector Agua y Saneamiento de Panamá.* Panamá: OPS/OMS/MINSA.

Orozco, C.; Pérez, A.; González, M.N.; Rodríguez F.J. y Alfayate, J.M. (2003). *Contaminación ambiental: Una visión desde la Química.* Madrid: Editorial Thomson.

Programa Saneamiento de Panamá (PSP) (2017). *Plan maestro.* Recuperado de http://saneamientodepanama.gob.pa/plan-maestro/

Quiñones, M.P. (2011). *Análisis ambiental de los parámetros fisicoquímicos, metales pesados y plaguicidas organoclorados del Río Catival en el Parque Nacional Coiba (PNC).* Tesis de licenciatura. Panamá: Universidad de Panamá.

Quiroz, F. (2004). *Manejo de las aguas residuales en la Ciudad de Panamá.* Ponencia.

Rocha, T. & Duarte, A.C. *Characterization and Analysis of Microplastics.* Recuperado el 22 de Mayo de 2017 de https://books.google.lv/books?id=DqCpDQAAQBAJ&pg=PA16&lpg=PA16&dq=characterization+of+micro+plastics&source=bl&ots=tGZZdN8gtc&sig=2c1aUqE20qKEozZLqyvYoq3apT0&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwib1qGqj4PUAhXFCiwKHRe5B1U4ChDoAQgmMAA#v=onepage&q=characterization of micro plastics&f=false

Rodríguez, E.A. (2008). *Caracterización del bosque de* Rhizophora mangle *L. en el Refugio de Vida Silvestre Isla Cañas, provincia de Los Santos, República de Panamá.* Tesis de maestría. Panamá: Universidad de Panamá.

Rodríguez, M. (2016). *La Estrella de Panamá.* 17 de Junio de 2016. Recuperado de http://laestrella.com.pa/vida-de-hoy/planeta/impulsan-reciclaje-botellas-plastico/23946182

Sachs, JD. (2012). *From millennium development goals to sustainable development goals.* Lancet (London, England). 379(9832):2206-2211. Doi: 10.1016/SO140-6736(12)60685-0.

Silva, H. (2014). Evaluación de línea base gestión de aguas residuales Panamá. *Caribbean Regional Fund for Wastewater Management.* 47 pp.

Tayeb, A.; Chellali, M.R.; Hamore, A. & Debbah, S. (2015). Impact of urban and industrial effluence on coastal marine environment in Oran, Algeria. *Marine Pollution Bulletin,* vol. 98: (1-2), pp. 281-288.

Von Chong, H. C. (1986). Manejo de la vegetación acuática en el Canal de Panamá. *Revista Lotería* No. 372 (sept.-oct.): pp.108-121.

Legislación consultada

Constitución Política de la República de Panamá de 1972 (2004). Edición ajustada a los Actos Reformatorios de 1978, al Acto Constitucional de 1983, a los Actos Legislativos No. 1 de 1993 y No. 2 de 1994, y al Acto Legislativo No. 1 de 2004. *Gaceta Oficial* No. 25.176 del 15 de noviembre de 2004.

Decreto Ejecutivo No. 279 de 2006. Reglamentación de la Ley 26 de 1996, reformada por el Decreto Ley 10 de 2006, "Que reorganiza la estructura y atribuciones del ente regulador de los servicios públicos". *Gaceta Oficial* 25.677 del 22 de noviembre de 2006.

Decreto Ejecutivo No. 268 del 6 de junio de 2008. Que reglamenta el traspaso de los sistemas o plantas de tratamiento de las aguas residuales, de conformidad a los artículos 41 y 52 de la Ley 77 de 28 de diciembre de 2001, que reorganiza y moderniza el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales y se dictan otras disposiciones., N°268 C.F.R. 2008. *Gaceta Oficial* 26.068 del 24 de junio de 2008.

Decreto Ejecutivo No. 441 de 2008 que modifica el Decreto Ejecutivo 202 de 1990. Gaceta Oficial No. 26.145 del 13 de octubre de 2008.

Decreto Ejecutivo Nº 1.839 del 5 de diciembre de 2014 que dicta el nuevo marco regulatorio de las juntas administradoras de acueductos rurales (JAAR) como organismos co-responsables con el estado de la administración, operación, mantenimiento y ampliación de los sistemas de abastecimiento de agua potable rural. *Gaceta Oficial* Nº 27.678-A del 11 de diciembre de 2014.

Decreto Ejecutivo No. 84 de 2007, por el cual se aprueba la política Nacional de Recursos Hídricos, sus principios, objetivos y líneas de acción. *Gaceta Oficial* 25.777 del 24 de abril de 2007.

Decreto Ejecutivo 479 de 2013, "Que reglamenta la Ley 44 de 5 de agosto de 2002 que establece el Régimen Administrativo Especial para el manejo, protección y conservación de las cuencas hidrográficas de la República de Panamá". *Gaceta Oficial* 27.273-A de 24 de abril de 2013.

Ley No. 36 del 17 de mayo de 1996, "Por la cual se establecen controles para evitar la contaminación ambiental ocasionada por combustibles y plomo". *Gaceta Oficial,* República de Panamá, 21 de mayo de 1996.

Ley No. 41 de 1998. Ley General de Ambiente de la República de Panamá y se crea la Autoridad Nacional del Ambiente. *Gaceta Oficial* No. 28.131A del 4 de octubre de 2016.

Ley No. 44 de 2002, "Que establece el Régimen Administrativo especial para el manejo, protección y conservación de las cuencas hidrográficas de la República de Panamá". *Gaceta Oficial* 24.613 de 8 de agosto de 2002.

Ley No. 8 de 2015, que crea el Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE). *Gaceta Oficial* 27.749-B.

Ley No. 66 de 2015, que reforma la ley 37 de 2009, que descentraliza la administración pública, y dicta otras disposiciones (MEF). *Gaceta Oficial* 27.901-A del 30 de octubre de 2015.

Ministerio de Agricultura Comercio e Industrias (MICI) (1966). Ley que regula el uso de las aguas. *Digital GO.* Panamá: MICI. 1-23.

Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) (2009a). Decreto "Por el cual se establece la norma ambiental de calidad de suelos para diversos usos". *Gaceta Oficial Digital.* Panamá: MEF, 2009:1-26.

Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) (2009b). Decreto "Por el cual se dictan normas ambientales de emisiones para vehículos automotores". *Gaceta Oficial Digital.* Panamá: MEF, 2009:1-8.

Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) (2009c). Decreto "Por el cual se dictan normas ambientales de emisiones para emisiones de fuentes fijas". *Gaceta Oficial Digital.* Panamá: MEF, 2009:1-15.

Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-393-99 (MICI) por la cual se regula la toma de muestras para análisis físico-químico. *Gaceta Oficial* N° 23.941 de 6 de diciembre de 1999.

Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 22-394-99 (MICI) por el cual se reglamenta la Toma de muestras para análisis biológicos. *Gaceta Oficial* N° 23.949 de 17 de diciembre de 1999.

Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99 (MICI) por el cual se reglamentan los Requisitos físicos, químicos, biológicos y radiológicos que debe cumplir el agua potable. *Gaceta Oficial* N° 23.942 del 7 de diciembre de 1999.

Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 24-99 (MICI) sobre la Reutilización de las aguas residuales tratadas. *Gaceta Oficial* N° 24.008 de 13 de marzo de 2000.

Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2000 (MICI) sobre la Descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos de agua y masas de agua superficiales y subterráneas. *Gaceta Oficial* N° 24.115 de 10 de agosto de 2000.

Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000 (MICI) sobre la Descarga de efluentes líquidos directamente a sistemas de recolección de aguas residuales. *Gaceta Oficial* No. 24.115 de 10 de agosto de 2000.

Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 47-2000 (MICI) sobre usos y disposición de lodos. *Gaceta Oficial* No. 24.115 de 10 de agosto de 2000.

Resolución No 507 de 30 de diciembre de 2003 (MINSA) sobre el Procedimiento para controlar la calidad del agua potable. *Gaceta Oficial* N° 24.970 de 20 de enero de 2004.

Resolución de Gabinete N° 114 del 23 de agosto de 2016, "Que aprueba el Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH) 2015-2050: Agua para todos y crea el Consejo Nacional del Agua (CONAGUA) y su Secretaría Técnica". *Gaceta Oficial* No. 28.104a del 26 de agosto de 2016.

Referencias de Internet

http://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.ACSN.UR (Consultado el 31 de julio de 2014)
http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC (Consultado en octubre de 2016)
http://datatopics.worldbank.org/sdgatlas/sustainable-development-goals.html
http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?name_desc=true&view=map
http://eird.org/americas/news/the-panama-canal-example-of-sustainability-and-water-use-efficiency.html#.WRmjj-UjGyI
http://www.fao.org/3/a-i3442s.pdf
http://www.energia.gob.pa/
http://www.iadb.org/en/topics/emerging-and-sustainable-cities/responding-to-urbanisticas
http://www.industriales.org/economia/perfil-de-la-industrimanufacturera-en-panama. octubre 26 2009
http://miambiente.gob.pa/index.php/es/2013-02-20-08-51-24/biblioteca-virtual
http://micanaldepanama.com/nosotros/cuenca-hidrografica/
http://www.sagan-gea.org/hojared/CAgua.html
http://www.worldgbc.org
https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-metales/
https://apronadpanama.blogspot.com/2011/10/el-mercado-de-reciclaje-de-plastico-en.html/
https://empresaambientalgatun.wordpress.com/category/plastico/
https://noticias.gogetit.com.pa/edificios-verdes/

Perú

El **Perú** –veinteavo país más extenso del mundo y octavo con mayor disponibilidad de agua– tiene más de 50 % de sus recursos hídricos superficiales afectados con un alto grado de contaminación, poniendo en grave riesgo su uso debido a los vertimientos de aguas residuales municipales, diversas actividades económicas y contaminación de origen natural. El marco normativo, al no ser acompañado por el desarrollo de una gobernanza hídrica debido a esfuerzos descentralizados en ciencia-innovación-tecnología y cultura del agua, no logra un proceso de gestión de la calidad hídrica ni, por ende, seguridad hídrica.

Laguna Parón en el Parque Nacional Huascarán, Perú © iStock

Perú: el doble reto de la calidad del agua y seguridad hídrica

Nicole Bernex, James Apaéstegui, Betty Chung, María Luisa Castro de Esparza, José Bauer, Raúl Espinoza, César Vidal, Pablo Tsukayama, Martín Cabello-Vílchez y Katiusca Yakabi

1. Introducción

a. Antecedentes

Veinteavo país más extenso del mundo, el Perú posee 0.4% de la población mundial. Aunque tenga 5% de las aguas superficiales del planeta, el doble juego de la asimetría de la oferta hídrica y de la distribución poblacional hace que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ubique al Perú en el puesto 17 a nivel mundial, en relación con la cantidad de agua disponible por persona. En efecto, la situación local es muy distinta para 62% de la población del país concentrada en la vertiente del Pacífico y accediendo solamente a 1.8% del agua disponible a nivel nacional; para 34% que vive en la vertiente del Atlántico y accede a 97.7% del agua; y para 4% que vive en la vertiente del Titicaca y accede a 0.5% del agua disponible a nivel nacional. La mayor demanda de agua la tiene el sector agrícola con 86%, le sigue el uso poblacional con 7%, luego el uso industrial con 6% y el uso minero con 1% (ANA, 2017). "La contaminación de las aguas en el Perú es tan antigua como la existencia de ciudades, debido a que los ríos y los mares han servido y siguen sirviendo como puntos de deposición final de las aguas negras" (ONERN, 1985). Precisaba el impacto del proceso de desarrollo, en especial la acción de la minería, industria pesquera y agricultura, así como el rol de los complejos industriales y grandes ciudades. Se reconocía la poca relevancia del problema en un país donde la disponibilidad del recurso per cápita/año era muy alta (120,032 m^3/hab./año). No obstante, se puede observar cómo en las tres décadas siguientes, con el crecimiento poblacional y la ausencia de gestión del recurso, se ha reducido drásticamente la disponibilidad de agua y se ha afectado la calidad del recurso (**Tabla 1**).

Nicole Bernex nbernex@pucp.edu.pe Coordinadora del capítulo. Dr. en Geografía; Profesor principal de la Pontificia Universidad Católica del Perú; miembro de número de la Academia Nacional de Ciencias; Punto Focal Nacional del Programa de Aguas de IANAS. **James Emiliano Apaéstegui Campos** japaéstegui@gmail.com Investigador en el Instituto Geofísico del Perú y en el Instituto Científico del Agua. **Perla Betty Chung Tong** pbchung@hotmail.com Magister en Química. **María Luisa Castro de Esparza** mlcastroesparza@gmail.com Doctora en Salud Pública. Auditor líder en Canadian Association for Laboratory Acreditation Inc (CALA); consultora Regional de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS). **José Bauer Cuya** jose.bauer@upch.pe Doctor en Ciencias con mención en Microbiología. Director de la Unidad de Biominería y Medio Ambiente, de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. **Raúl Arnaldo Espinoza Villar** respinozavillar@gmail.com Ph. D. Geociencias Aplicadas y en Hidrología, Hidroquímica, Suelo y Medio Ambiente. Investigador en el Instituto Geofísico del Perú. **César Enrique Vidal Cobian** cesarevidalperu@gmail.com Doctor en Geología. Miembro de número de la Academia Nacional de Ciencias; miembro de la Sociedad Geológica del Perú. **Pablo Tsukayama Cisneros** pablo.tsukayama@upch.pe Doctor en Microbiología Molecular. Jefe del Laboratorio de Genómica Microbiana, Departamento de Ciencias Celulares y Moleculares, Facultad de Ciencias y Filosofía, Universidad Peruana Cayetano Heredia. **Alfonso Martín Cabello-Vílchez** alfonso.cabello@upch.pe Doctor en Ciencias Biofarmacéuticas. Coordinador del Laboratorio de Protozoarios y Endosimbiontes Patógenos, del Instituto de Medicina Tropical "Alexander von Humboldt", Universidad Peruana Cayetano Heredia. **Katiusca Susana Yakabi Brediñana** kyakabi@pucp.pe Magíster en Desarrollo Ambiental. Docente de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

El INEI estima que hacia 2021 el país superará los 33 millones de habitantes y para el año 2050 la población llegará a los 40 millones, lo que conllevará a una mayor demanda de agua y a un creciente aporte de contaminantes a los cuerpos de agua. Se reconocía en el Plan Nacional de Recursos Hídricos que "el empleo intensivo de recursos hídricos afecta gravemente a la propia calidad del agua y a su entorno ambiental, y pone en peligro la continuidad del desarrollo de las actividades que se sustentan en el agua y garantizan su disponibilidad" (ANA, 2013: 16).

b. Principales problemas de calidad de agua

Por décadas, la información ha sido escasa y poco confiable. Es así como en 1979 se reconoció de manera muy preliminar el volumen de los efluentes. Los desagües domésticos a las aguas marinas alcanzaban 503 millones de m^3/año, seguidos por los desagües de la industria minera a las aguas superficiales con 244 millones de m^3/año y los de la industria con 44'650,000 m^3/año. En 1981, los efluentes de la industria minera a las aguas marítimas alcanzaban unos 43'616,400 m^3/año y los de la industria pesquera a estas mismas aguas, 38'590,000 m^3/año (ONERN, 1985). Asimismo, se precisaba que, recientemente, había surgido un nuevo tipo de contaminación en el país como consecuencia de la explotación petrolera en la Selva. Ésta se produce al eliminarse las aguas saladas que se extraen junto con el petróleo, las cuales son vertidas a los ríos, afectando la fauna hidrobiológica. Como ejemplo está el caso del río Corrientes, donde se vertieron 1'300,000 m^3 de afluentes salobres en un solo año (1984).

La Figura 1 sintetiza la complejidad de los problemas de calidad de agua, acrecentados por la informalidad y generando no solamente incremento del costo de la potabilización del agua, sino también numerosos y severos conflictos territoriales, ya sea por cantidad o calidad del agua.

c. Objetivos y alcance del capítulo

Este capítulo presenta un estado del arte de la calidad del agua en el Perú, la multiplicidad de las brechas existentes, los vacíos de conocimientos, las carencias de gestión así como los avances recientes. Se hace hincapié sobre algunas experiencias exitosas y las posibles estrategias a replicar a fin de revertir los problemas de calidad de agua, mejorando así la salud de los ecosistemas y de las poblaciones, y encaminándose a lograr la seguridad hídrica a todo nivel.

2. Marco normativo de la calidad de agua y gobernanza

a. Marco legal

Las normas de protección y conservación de las fuentes naturales de agua en el Perú fueron instituidas desde el año 1969 por la Ley General de Aguas (D.L. N°17752) y su Reglamento (D.S. N°261-69-AP), que estableció seis clases de agua en función de su tipo de uso, además de los valores límites de 23 parámetros para los distintos tipos de agua establecidos. En 1989 se modificó este Reglamento (D.S. N°007-83-SA), manteniendo las seis clases de agua en función de su tipo de uso, pero modificando los valores límites de algunos parámetros, como la DBO para la Clase II.

Tabla 1. Distribución de los recursos hídricos en el territorio peruano, 1985-2013

Vertiente	Población (habitantes)		Volumen escurrido (Millones de m^3)		Relación disponibilidad vs población (m^3/hab./año)	
	1985	2013	1985	2013	1985	2013
Pacífico	10'274,838	18'801,417	34,624.64	34,136.00	3,370	1,816
Atlántico	5'931,366	10'018,789	1'998,751.68	1'895,226.00	336,980	189,167
Titicaca	818,820	1'246,975	10,171.94	6,259.00	12,423	5,019
Total	**17'025,024**	**30'067,181**	**2'043,548.26**	**1'935,621.00**	**120,032**	**64,376**

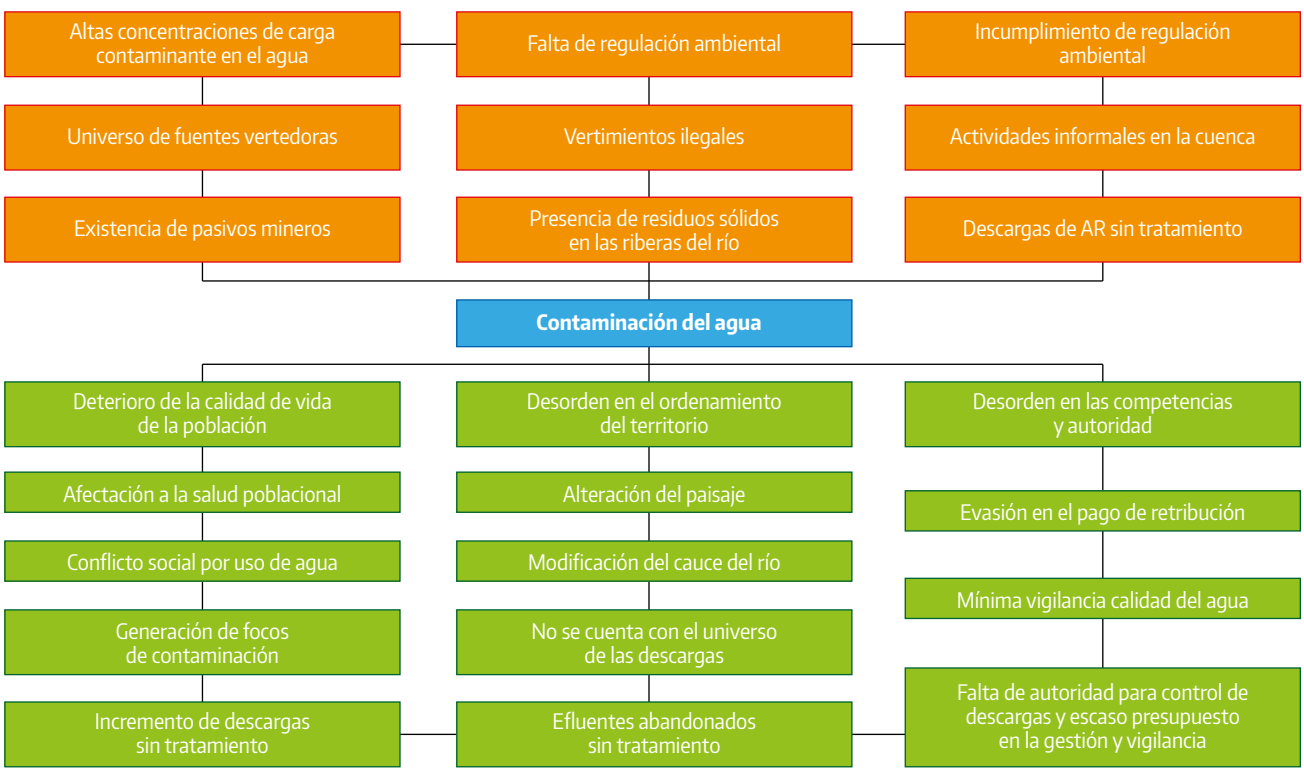
Fuente: ONERN, 1985: 100; ANA, 2013. Elaboración propia.

Las entidades responsables estaban en los sectores Salud y Agricultura; sin embargo, a partir del año 1999, crece el interés por la protección del ambiente. Se promulgó el Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales (D.L. N°613); quince años después se aprobó la Ley General del Ambiente (Ley N°28611), en 2005. Posteriormente, en el año 2008, con la creación del Ministerio del Medio Ambiente (MINAM), se promulgaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Agua (D.S. N°002-2008-MINAM), donde se establecen cuatro categorías de uso y 16 subcategorías. Estos estándares fueron actualizados varias veces, siendo la última actualización en 2017 (D.S. N°004-2017-MINAM), así como los Límites Máximos Permisibles (LMP). No obstante, hasta la fecha falta establecer los límites de descarga de las industrias manufactureras, agrícolas y energéticas. El MINAM creó en ese mismo año el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), como un organismo técnico especializado y rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA) en el Perú.

En 2009 se promulgó la Ley de Recursos Hídricos (Ley N°29338), que reemplazó a la Ley General de Aguas y designó como única autoridad encargada a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), ente rector del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos (SNGRH). La ANA se encarga de la administración de los recursos hídricos otorgando derechos de uso de agua, aprueba autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas, realiza la vigilancia de la calidad del agua con un plan anual de monitoreo por cuencas, autoriza obras en fuentes naturales, forma Consejos de Recursos Hídricos y aprueba sus respectivos Planes de Gestión.

La Ley de Recursos Hídricos regula el uso y promueve la gestión integrada de los recursos hídricos por cuencas; el valor del agua se considera en sus aspectos económico, ambiental y social. La ANA, como ente rector del SNGRH, articula las acciones de todos sus integrantes para implementar, super-

Figura 1. Problemática de la calidad ambiental en el Perú



Fuente: Ocola, J.J. (2016). Protección del agua - vigilancia y control de vertimientos.

visar y evaluar el Plan Nacional de Recursos Hídricos y su estrategia de mejoramiento de la calidad del agua, en los distintos niveles de gobierno. A nivel institucional, es la Dirección de Gestión de la Calidad de Recursos Hídricos de la ANA la que monitorea y elabora informes sobre la calidad del agua superficial circulante por determinados tramos de río.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) está encargado de la Política Nacional de los servicios de agua, saneamiento y tratamiento de aguas residuales; además, elabora el plan de inversiones y define el presupuesto para el sector. La certificación del instrumento ambiental, requisito para las autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas, está a cargo de la Dirección General de Gestión Ambiental del MVCS. En el caso de los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales, el sector Vivienda ha promulgado el Decreto Supremo N° 015-2017-MVCS, reglamento para el reaprovechamiento de los lodos.

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) es el organismo supervisor de las EPS; aprueba las tarifas y los Planes Maestros, y supervisa y fiscaliza su cumplimiento, así como de las condiciones de calidad del servicio. A partir de 2017, con la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento (D.L. N° 1280), la SUNASS tiene nuevas funciones y competencias, ya no sólo en el ámbito urbano, sino también en el ámbito rural, y pasan "de regular 50 empresas prestadoras, a 28 mil prestadores, [incluyendo] organizaciones comunales y unidades de gestión municipal".

El MINAM es el encargado de dictar la política ambiental y las normas relacionadas a los ECA y los LMP según el sector o actividad; los ECA son referencia obligatoria para el diseño de instrumentos ambientales, planes y actividades, orientados a mejorar la calidad de las aguas naturales. El MCVS, así como los Ministerios de los sectores productivos, se encargan de normar y aprobar los instrumentos ambientales, Estudios de Impacto Ambiental (EIA) o Programas de Adecuación y Manejo Ambiental de los proyectos en su entorno. La aprobación de los EIA relacionados con el recurso hídrico debe contar también con la opinión favorable de la ANA. En este contexto, la implementación de los LMP y los ECA-Agua requiere establecer una relación dinámica de coordinación entre los sectores, la ANA y el MINAM.

b. Relaciones con las ONG, universidades y centros de investigación

Desde el año 2011, la ANA sostiene con numerosas ONG relaciones estrechas para la integración de proyectos sociales vinculados a la gestión del agua; de la misma manera lo hacen los diferentes ministerios y la SUNASS. Un gran número de ONG trabaja desde hace más de 10 años la gestión de la calidad del agua en el marco de la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH); como ejemplos a nivel regional están Guamán Poma de Ayala en el Cusco, Water for People en Cajamarca, Labor en Arequipa y, a nivel nacional, Soluciones Prácticas, CARE, SPDA, TNC, CONDESAN, entre otras. Muy cercanas a las ONG, y a menudo articulando con ellas, están las iniciativas de la Iglesia en distintas partes del país, desde la Comisión Episcopal de Acción Social (CEAS) y de CARITAS; también con experiencias propias ante la calidad del agua, aire y suelo (Proyecto "El Mantaro Revive" del Arzobispado de Huancayo), y vigilancia de la calidad de agua (Proyecto de los Marianistas en Otuzco y Sanagoran).

Desde 2015, los diferentes repositorios del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC), el Directorio Nacional de Investigadores e Innovadores (DINA), el Acceso Libre a la Información para la Innovación (ALICIA) y el Registro Nacional de Investigadores en Ciencia y Tecnología (REGINA), permiten medir los progresos realizados en ciencias del agua, el número creciente de tesis de maestría y doctorado, de artículos y estudios publicados, así como de laboratorios (Hidráulica, Mecánica de fluidos, Hidrología, Ingeniería Sanitaria, Microbiología, Parasitología, Biotecnología, Calidad del agua, entre otros). Asimismo, se crearon nuevos institutos en ciencias del agua en los tres últimos años, como el Instituto Nexus de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa (alimentación, agua, energía y ambiente), el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA) de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC), el Instituto Científico del Agua de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH) y la Academia Nacional de Ciencias (ANC). Se observa una fuerte tendencia interdisciplinar y mayor cantidad de trabajos entre la academia, las empresas y el Estado. En agosto de 2018, por R.J. N° 237-2018-ANA, se constituyó la Mesa Aca-

démica del Agua, conformada por los representantes de la ANA, de 17 universidades nacionales y privadas[1] y del Canadian International Resources and Development Institute (CIRDI).

c. Monitoreos y bases de data

Los datos referentes a la calidad del agua provienen de los monitoreos realizados por la ANA en las fuentes de agua superficiales de las cuencas y subcuencas, así como de la zona costera (2009 – 2017). Otros datos provienen de estudios individuales en el mar, realizado por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE del Ministerio de Producción). Otras fuentes son de instituciones estatales, como la SUNASS (calidad de agua potable), el OEFA (calidad de agua de aguas superficiales, subterráneas y vertimientos) y datos de vigilancia de la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA (2005-2009). Los monitoreos incluyen una lista grande de parámetros como parte de los programas de vigilancia de las mencionadas instituciones. Todos los resultados indican concentraciones de los parámetros en agua, en el momento de muestreo. Los parámetros que se reportan para caracterizar el agua de los cuerpos superficiales, se muestran a continuación:

- Caudal (l/s)
- Coliformes Termotolerantes
- Conductividad
- Oxígeno Disuelto
- pH
- Temperatura
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Fósforo Total
- Fosfatos
- Nitrógeno Amoniacal
- Nitratos
- Nitrógeno Total
- Sólidos Totales Suspendidos
- Aceites y Grasas
- Metales (lista de 26 elementos, ICP)
- Hidrocarburos Totales de Petróleo (C9-C40)
- Fenoles
- Sales (cloruros, sulfatos, etc.).

Un informe sobre la calidad de agua de la ANA, basado en los monitoreos realizados en 41 cuencas hasta el año 2015, muestra que los parámetros que más sobrepasaron los valores de los ECA-Agua, fueron coliformes termotolerantes, DBO5, DQO, fósforo total, nitrógeno amoniacal, aluminio, hierro, manganeso, arsénico y plomo; dichos resultados se encontraron de manera focalizada en los cuerpos de agua, mas no en la totalidad de la cuenca (**Figura 2**). Actualmente, los análisis de agua de las instituciones mencionadas se realizan en laboratorios acreditados por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). En estos momentos, el Perú cuenta con una gran cantidad de datos provenientes de las instituciones del Estado.

3. Principales problemas que afectan la calidad del agua

a. Eutrofización

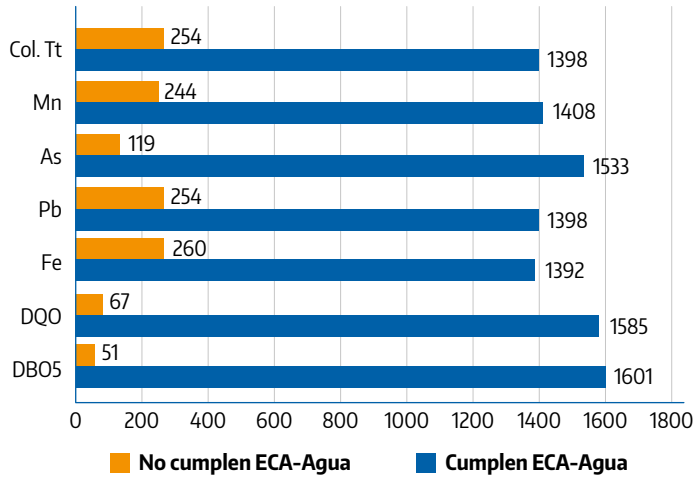
El Perú no es ajeno a la eutrofización, en muchos de sus cuerpos de agua lénticos se vienen incrementando los niveles de nutrientes, lo que inicia este proceso; sin embargo, todavía es poco monitoreado y estudiado. En los últimos años, el Lago Titicaca ha pasado de un estado oligotrófico a uno mesotrófico, siendo la zona más afectada la bahía de Puno (Montoya *et al*., 2015; Komárková *et al*. 2016). Esto se debe principalmente al crecimiento de la población y del turismo desordenado en la región, que incrementa la cantidad de residuos vertidos al lago (Fontúrbel *et al*., 2003; Fontúrbel, 2004). Mariano *et al*. (2017), en un estudio a siete lagunas en la región Junín, concluyó que la piscicultura intensiva es un factor importante en el proceso de eutrofización, observando que las lagunas Tranca Grande, Cucancocha y Ayhuin se encontraban en condiciones de mesotrofía, y las lagunas Habascocha, Tipicocha, Huascacocha y Pomacocha en condiciones de eutrofia.

1. Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH, Universidad de Lima-ULima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos-UNMSM, Pontificia Universidad Católica del Perú-UNALM, Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM, Universidad de Ingeniería y Tecnología-UTEC, Universidad del Pacífico-UP, Universidad Científica del Sur-CIENTIFICA, Universidad Nacional de Ingeniería-UNI, Universidad San Ignacio de Loyola-USIL, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo-UNPRG, Universidad Nacional del Altiplano-UNAP, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga-UNSCH, Universidad Nacional del Centro del Perú-UNCP, Universidad Nacional de Cajamarca-UNC, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa-unas, Universidad Nacional de Trujillo-UNT y Universidad de Piura-UDEP.

Los reservorios artificiales tampoco son ajenos a esta problemática, siendo muchas las represas que presentan signos de eutrofización. Según el IMARPE (2008), en la represa de San Lorenzo se encontraron zonas en proceso de eutrofización por la acumulación de los desechos de los pobladores de la zona, especialmente, de la que está cercana al dique; en la represa de Poechos se encontraron zonas en proceso de eutrofización cerca de las orillas. Por otro lado, en informes elaborados por la Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira-Piura se indica la presencia de altos valores de nitratos en determinadas zonas, indicando fuertes procesos de eutrofización. Matienzo (2014) evidencia riesgo de eutrofización de las aguas a causa de las elevadas concentraciones de nutrientes en el río Jequetepeque. La ANA, en un estudio de octubre de 2014, reportó que las represas del Proyecto Especial Majes-Siguas se encontraban eutrofizadas, frente a lo cual el mismo Proyecto propuso el manejo integral de represas. Según el Diagnóstico Participativo de la Gestión de los Recursos Hídricos de la cuenca Chancay-Lambayeque (Typsa, ANA y CRHC, 2012), la represa de Tinajones presenta problemas de eutrofización, lo que lleva a conflictos por el abastecimiento de agua potable a varias ciudades.

En la selva peruana, los lagos o cochas también se encuentran con problemas de eutrofización. En esta región es más común que el proceso se dé de forma natural debido a la cantidad de materia orgánica en la cuenca aportante, así como por las cantidades de sedimentos que transportan los ríos. Este fenómeno se ve acelerado por las altas temperaturas, propio de la región, aunque varía según la hidrología local (Riofrío *et al*., 2003).

Figura 2. Estado de monitoreo nacional respecto del cumplimiento con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua



Fuente: ANA, 2017. Elaboración propia. *Col. Tt.= Coliformes termotolerantes

b. Contaminantes naturales

Las principales tendencias naturales del actual ciclo hidrológico en el Perú son la pérdida de oxígeno y acidificación local del agua marina costera en el Océano Pacífico, el aumento continuo de la desertificación por la vertiente occidental de los Andes, las lluvias tropicales con nevadas altoandinas del monzón estival sudamericano y la evapotranspiración de los bosques amazónicos con eventuales corrientes de viento y lluvia de origen Atlántico Suroeste. El intemperismo continuo de las regiones mineralizadas altoandinas genera aguas sulfatadas ácidas con variable carga metálica de arsénico, antimonio, cobre, plomo, zinc y, ocasionalmente, mercurio. En el Perú son conocidas las altas concentraciones naturales de arsénico en las aguas de la cuenca del río Caplina–Tacna, lo cual está relacionado con la presencia de rocas volcánicas y fuentes termales que afloran en la Cordillera Occidental (Carlotto, 2014). Este patrón se observa también en otros tramos de vulcanismo reciente con actividad hidrotermal en el Círculo de Fuego circumpacífico (Vidal y Cedillo, 1988).

En el dominio oceánico, y dentro de las 250 millas territoriales, interactúan y se mezclan las corrientes de Humboldt y El Niño. La interacción anual de estas corrientes marinas tiene clara expresión paleontológica en el registro estratigráfico de las formaciones en el Neógeno de Sullana y Pisco. En estas regiones se tienen diatomitas intercaladas con fosfatos, ambos biogénicos y sedimentados en cuencas submarinas. Los fosfatos registran una fauna y flora muy amplia como evidencia de eventos y ciclos de mortandad masiva por cambios drásticos en condiciones de temperatura, pH y salinidad de las corrientes oceánicas. Las diatomitas registran eventos normales de mezcla de corrientes con mortandad masiva sólo de algas. El conocimiento global de estos fenómenos naturales en el mar demuestra que son consecuencia del encuentro de corrientes marinas. En los ecosistemas costeros existen indicios que el ciclo de mortandad masiva marina podría reanudarse en unas décadas, como consecuen-

cia de la desoxigenación y eventual acidificación del Océano Pacífico en las costas de Perú y Ecuador (Alvites, 2016; Fischetti & Christiansen, 2018; Heffermann, 2018).

En el dominio continental, las precipitaciones intemperizan, erosionan y luego transportan rocas, arena, arcillas y sales solubles en drenajes variablemente acidificados y con carga anómala de metales cuando discurren por los innumerables distritos mineros polimetálicos. Estas regiones cubren entre 5000 y 25,000 hectáreas cada una, son de origen magmático hidrotermal y se agrupan en franjas metalogénicas de diversas edades geológicas con principal desarrollo durante el Cenozoico subvolcánico de la Cordillera Occidental. En particular es conocida y está documentada la gran anomalía de arsénico en algunos ríos, como el río Chancay-Lambayeque en Cajamarca (INGEMMET, 2017; Bernex, Novoa y Korswagen, 2014). Localmente, estas aguas sulfatadas transportan concentraciones anómalas de cobre, plomo, zinc y/o mercurio en ciertos tramos de su recorrido. No se cuenta con cartografía sistemática de los 150 a 200 distritos mineros y sólo aquellos que están actualmente en exploración o explotación tienen estaciones meteorológicas y realizan monitoreo de aguas y efluentes (Boltan, 2017; Bernex, 2017). Lo mismo sucede con la mayoría de las cuencas que no tienen suficiente monitoreo ni gestión de recursos hídricos (Bernex y Yakabi, 2016).

La evolución por tendencias naturales es compleja, está poco documentada y requiere mayor estudio hidrogeológico, geoquímico y geofísico. Los esfuerzos recientes más avanzados están en el ANA, el INGEMMET, la Sociedad Geológica del Perú, pero también en ONG como Oxfam y en esfuerzos internacionales concentrados en la contaminación antropogénica, como el de la Global Alliance on Health and Pollution (GAHP; Lancet Commissions Report, 2017).

c. Agroquímicos

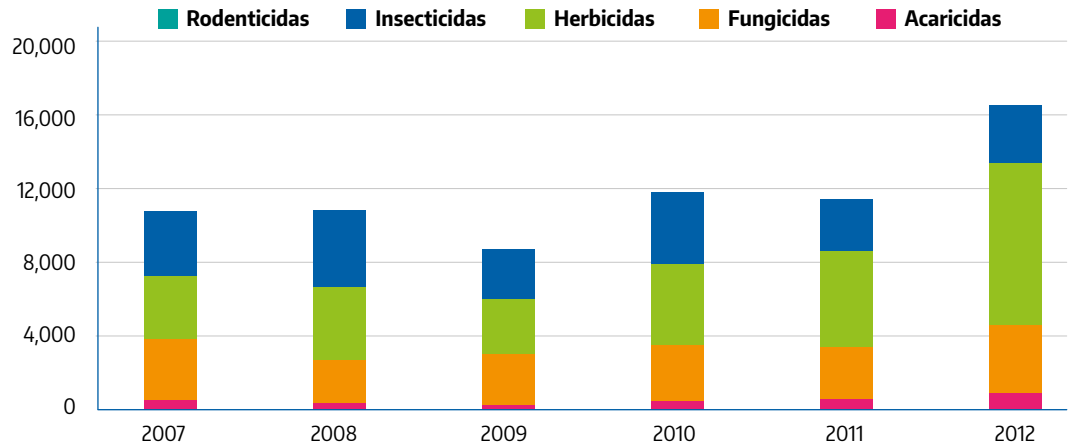
En el Perú, la agricultura es la actividad productiva que más aportes de nitrógeno y fósforo tiene. Con más de 2 millones de ha agrícolas bajo riego, aún son casi inexistentes los estudios sobre el impacto de los fertilizantes en los cuerpos de agua; sólo se cuenta con evaluaciones periódicas sobre el uso de los fertilizantes en el país. Sin embargo, desde hace un par de décadas o menos, se incluye en los programas de monitoreo la medición de algunas de las formas químicas de los nutrientes en el agua (NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, N total), que debido al desconocimiento de sus efectos no se les prestaba la atención requerida. El censo agropecuario de 2012 indica que unos 971,200 productores (43,9%) emplean fertilizantes químicos, aumentando 50% respecto del año 1994. En 2013 se ha importado un total de 905,798 toneladas de estos productos (urea, nitratos, sulfatos, fosfatos), consumiéndose 75% en la costa, 20% en la sierra y 5% en la selva. Asimismo, en la última década se ha incrementado la oferta nacional de fertilizantes, con una tendencia al alza que debe estar alcanzando a la fecha actual (2018) las 1'200,000 toneladas aproximadamente.

Por otro lado, alrededor de 1'370,000 productores agropecuarios (62%) usan algún tipo de abono orgánico, habiéndose empleado unas 19,700 toneladas para 2012. Si bien no hay evidencias de un incremento mayor, se deben tomar en cuenta por su aporte de nutrientes y su real o potencial trasladado desde las aguas residuales agrícolas a los cuerpos naturales de agua. De los fertilizantes disponibles en el mercado, los más utilizados son los compuestos de fosfatos, sales de amonio, sales de potasio y magnesio, y urea, siendo esta última la de mayor consumo en 2012, seguida por el fosfato de amonio y los superfosfatos (poli fosfatos), todos con alto contenido de nitrógeno, fósforo o sales de magnesio y potasio (sulfatos y cloruros).

El aporte de nutrientes y sales de la actividad agrícola, a través de las aguas residuales de la actividad, afecta a los recursos hídricos. Por una parte, son una potencial contaminación para las aguas subterráneas que, en algunos casos, sobrepasan los límites de nitritos y nitratos haciéndolas no aptas para consumo humano; por otro lado, provocan la eutrofización de los cuerpos de agua, deteriorando las fuentes de agua.

En el caso de los plaguicidas, en el país no existen estudios ni estimaciones de la cantidad de plaguicidas que se vierten al ambiente, tampoco estudios para conocer los compuestos y las cantidades que podrían estar llegando a las aguas subterráneas y superficiales, y mucho menos investigaciones sobre sus efectos en los ecosistemas y en la salud pública. La única aproximación que se puede lograr, como sucede en el caso de los fertilizantes, es a través de los datos sobre la cantidad importada de plaguicidas (**Figura 3**), pero que también se ve distor-

Figura 3. Importación de plaguicidas de uso agrícola por tipo (uso), 2007-2012



Fuente: MINAGRI, 2015 – Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA).

sionada por la comercialización ilegal, contrabando (frontera del norte), venta ambulatoria en diversas regiones del país, falsificaciones y adulteraciones (costa norte, sierra central y sur). Para 2012, la oferta nacional de plaguicidas se incrementó, alcanzando un valor de 16,474 toneladas (INEI, 2013) por la importación de los productos. También, se reportó la existencia de empresas que importaban o formulaban plaguicidas, pero ninguna de ellas reconoció haber adquirido, importado o comercializado plaguicidas COP en los últimos años (CONAM, DIGESA y SENASA, 2006). Sobre este punto, no se cuenta con información actualizada, pero es probable que además del aumento y uso formal de plaguicidas registrados, haya un uso y comercialización clandestinos.

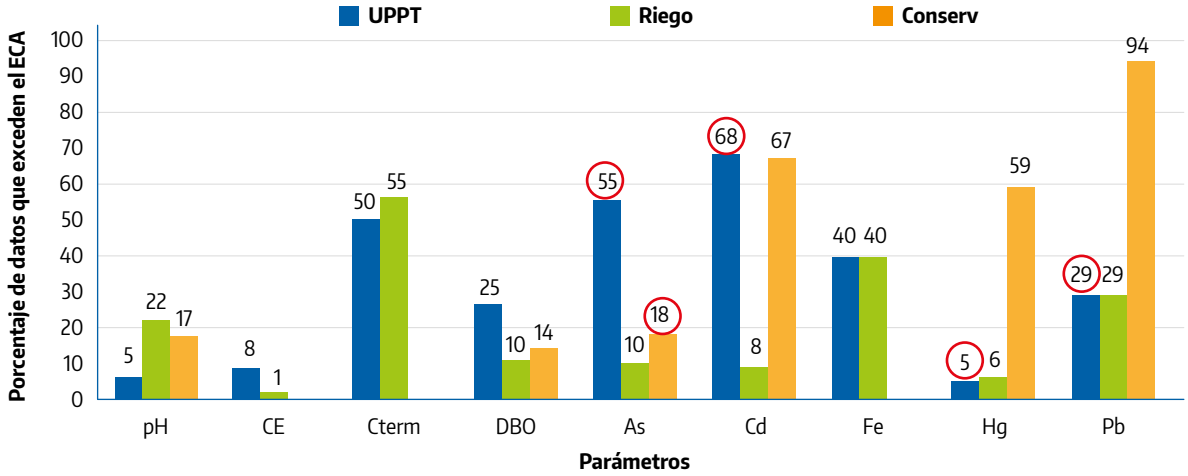
d. Metales pesados

La evaluación de la calidad del agua llevada a cabo por la ANA (2012) consideró parámetros físico-químicos (pH, conductividad eléctrica, DBO, y metales como plomo, mercurio, cadmio, hierro, cobre), metaloides (arsénico) y microbiológicos (coliformes termo tolerantes), debido a su uso como indicadores ambientales de impacto en los cuerpos naturales de agua.

Los resultados obtenidos de la calidad de los recursos hídricos en el período 2000-2012 determinan que los parámetros coliformes termotolerantes, arsénico, plomo y cadmio, muestran niveles de afectación a la calidad de los recursos hídricos con fines de riego (en las tres vertientes) y para fines poblacionales (vertientes del Amazonas y Pacífico). Asimismo, los parámetros coliformes termo tolerantes, DBO_5 y plomo (vertiente del Amazonas); DBO_5, cadmio, arsénico y plomo (vertiente del Pacífico); y pH, arsénico, cadmio, plomo y mercurio (vertiente del Titicaca), muestran niveles de afectación a la calidad de los recursos hídricos con fines de conservación del medio acuático. Los parámetros en mención se encuentran asociados a las descargas de aguas residuales poblacionales, pasivos ambientales mineros, minería informal y otros vinculados a las características naturales de las cuencas hidrográficas (**Figuras 4 y 5**).

El plomo, cadmio, arsénico y mercurio son los principales elementos que generan preocupación para la salud pública. Así se tiene al plomo en concentraciones elevadas en Cerro de Pasco y la Oroya, al arsénico en las aguas subterráneas en Tacna, al mercurio en Madre de Dios debido a la minería informal e ilegal, y al cadmio con una diseminación más amplia debido al uso de fertilizantes contaminados y a la eliminación de pilas y baterías en el medio ambiente. Sánchez *et al.* (2013) revisaron cinco estudios –entre los años 2005 y 2013– donde se analizaron trece elementos en muestras de orina de comunidades peruanas consideradas expuestas y no expuestas. Los elementos como el arsénico, cesio, cobalto, molibdeno y plomo estaban presentes en casi todas las muestras de los participantes evaluados, confirmando la exposición. El porcenta-

Figura 4. Cuerpos de agua que exceden los estándares de calidad ambiental en porcentaje, según tipo de uso a nivel nacional



Uso poblacional previo tratamiento

- Cadmio
- Arsénico
- Colif. Term.
- Hierro
- Plomo
- DBO_5

Uso riego vegetales y bebida animales

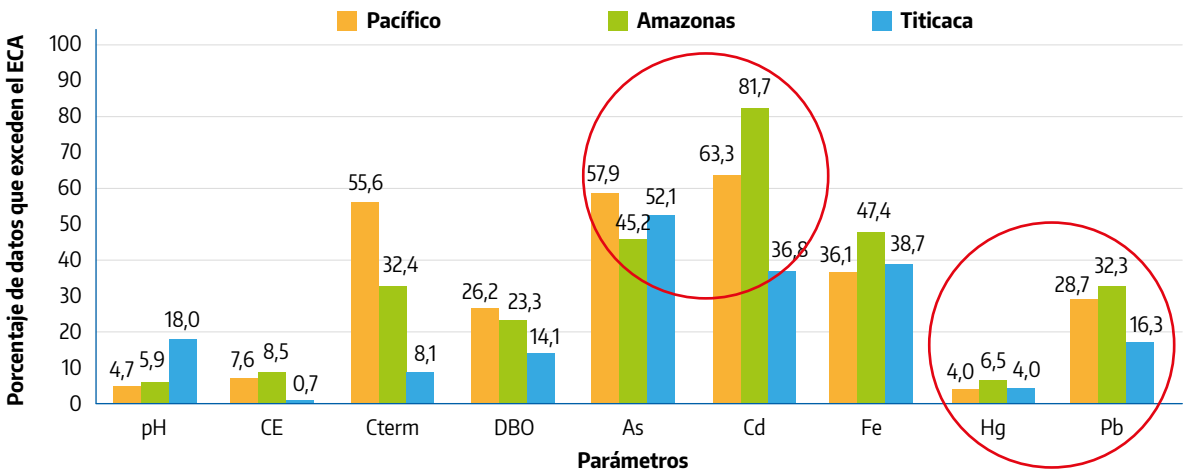
- Colif. Term
- Hierro
- Plomo
- pH

Uso conservación ambiente acuático

- Plomo
- Cadmio
- Mercurio

Fuente: Castro de Esparza, 2016.

Figura 5. Cuerpos de agua para uso poblacional que exceden los estándares de calidad ambiental, en %, según región hidrográfica



R.H. Pacífico

- Cadmio
- Arsénico
- Colif. Term.
- Hierro
- Plomo
- DBO_5

R.H. Amazonas

- Cadmio
- Hierro
- Arsénico
- Colif. Term
- Plomo
- DBO_5

R.H. Titicaca

- Arsénico
- Hierro
- Cadmio

Fuente: Castro de Esparza, 2016.

je de personas con exposición confirmada a otros elementos tuvo variaciones entre localidades. Esta situación debe ser analizada con mayor detalle, y obliga a realizar acciones de prevención inmediata para evitar la exposición de las poblaciones e impedir de esta manera las intoxicaciones. Todo esto no se podrá lograr sin la participación del Gobierno central, de instituciones públicas y privadas, y de la población en general.

e. Deforestación

En el Perú, entre 75 y 90% de la deforestación está asociada a la roza y quema para la agricultura de pequeña (territorios < 5 ha) y gran escala. La primera es característica de poblaciones que migran, principalmente, a las regiones amazónicas para ampliar la frontera agrícola con fines comerciales y de subsistencia. En el caso de la deforestación de los bosques amazónicos, además de la pérdida de la biodiversidad y recursos naturales, se especifica una serie de impactos asociados al detrimento de las funciones de los ecosistemas en la disponibilidad y calidad del agua, pérdida de fertilidad y erosión de suelos, reducción de la fijación de CO_2, aumento de la vulnerabilidad al cambio climático, afectación de la belleza paisajística, entre otros. Para la Amazonía peruana se pueden mencionar el café y el cacao como los principales cultivos asociados a la deforestación, así como la actividad ganadera (GGGI, GDI y SERFOR, 2015).

La deforestación, cuyo objetivo es el cambio de uso de suelo hacia fines agrícolas o ganaderos, generalmente tiene como resultado la elevación de las tasas de escorrentía superficial, la erosión de suelos con la consecuente pérdida de nutrientes (Croke & Hairsine, 2006; Creed *et al*., 2011) y la pérdida de carbono orgánico (Wang-Erlandsson *et al*., 2014). Si bien existen experimentos numéricos que evalúan y cuantifican el potencial impacto que tiene la deforestación sobre los recursos hídricos en la Amazonía (Coe *et al*., 2009), hasta el año 2005, los trabajos de FAO y CIFOR (Centro de Investigaciones Forestales) indicaban efectos físicos de la erosión hídrica (turbidez), pero sin cuantificarlos de manera sistemática.

Estudios específicos orientados a cambios en la calidad del agua debido a la deforestación son escasos en el Perú, siendo quizás el de mayor importancia el presentado por Lindell *et al*. (2010), que evalúa la calidad del recurso hídrico en la salida de 48 cuencas de la transición Andino Amazónica del norte peruano. Dicho trabajo presenta la evaluación de la calidad considerando factores naturales que caracterizan la hidroquímica de los ríos y la deforestación. Como conclusiones más importantes se señala que, entre los 396 y 1649 msnm, la litología tiene un fuerte control en la química de las aguas, explicando >70% de las variaciones en las concentraciones de potasio y una parte considerable de manganeso, uranio, magnesio y HCO_3, incrementándose las concentraciones exponencialmente conforme se reduce la gradiente altitudinal. La cobertura forestal, que varía entre 7 y 99% en las cuencas estudiadas, no revelan un impacto significativo de la deforestación en las concentraciones de las soluciones de los cauces de estudio. Sin embargo, estas observaciones deben ser contrastadas con estudios actuales y se debe hacer un esfuerzo por generar información que permita determinar las condiciones naturales de los cauces en las cuencas del sur del Perú, donde la deforestación puede exponer litologías mineralizadas que generarán un mayor impacto en la cantidad del recurso hídrico. En general, el impacto de la deforestación en la calidad del recurso hídrico dentro del territorio peruano es percibido por la población a través de parámetros como la turbidez. No obstante, los estudios deben ser desarrollados y en algunos casos recopilados y sistematizados a fin de entregar evidencia científica de los impactos reales.

f. Salinización

Desde la década de los 70, no existe información actualizada a nivel nacional con respecto al tema de salinidad. En 1973, la ONERN reconocía que 306,701 ha eran afectadas por la salinización. Según la información recopilada por el Instituto Nacional de Desarrollo (INADE), el Perú, en ese entonces, tenía aproximadamente un millón de hectáreas con aptitud para riego en la costa peruana, de las cuales cerca de 750,000 ha estaban cultivadas y, de éstas, casi la mitad con problemas de salinidad y mal drenaje; mientras que Brack afirmaba, 25 años más tarde, que cerca de 40% de los suelos irrigados de la costa están afectados por sobre-riego y es debido a las condiciones de mal drenaje que afloran las sales minerales a la superficie (cloruros y sulfatos) (Brack y Mendiola, 2004). Según Pastor (2010), la salinización de los suelos agrícolas en las zonas de la costa peruana es un proceso contaminante y cre-

ciente; por esta razón, la pequeña agricultura tiene limitaciones financieras para enfrentar el problema. Además, esta parte del país se caracteriza por tener suelos arenosos, con excepción de algunos valles fértiles, cuya fuente de agua proviene de los ríos de la cuenca del Pacífico. Su clima es árido y se caracteriza por la escasa precipitación; por lo tanto, al ser el agua un recurso escaso, la posibilidad de desarrollo de esta parte del país va a depender de la implementación, administración y manejo de los recursos hídricos. La ANA reconoce que "como resultado de los excesos de agua de riego aplicados en muchos de los valles de la costa, se han generado en la parte baja de estos valles, la elevación del nivel freático y la salinización de importantes áreas agrícolas, que representan pasivos ambientales agrícolas y que requieren acciones de remediación" (2016).

g. Aguas residuales

Se consideran las fuentes puntuales de los residuos industriales y domésticos, del uso de productos de limpieza y belleza, y de residuos de alimentos que contaminan las aguas superficiales. Por lo general, se espera que sean tratadas en plantas de tratamiento, pero en el país muchas veces son descargadas directamente a los ríos sin tratamiento. A ello se suman las fuentes difusas conformadas por las escorrentías de los terrenos agrícolas (fertilizantes químicos) y áreas urbanas, la erosión de terrenos y bosques desforestados; éstas son difíciles de controlar y, generalmente, no se toman en cuenta. El nivel del impacto de las descargas en sus diversas formas a las aguas superficiales dependerá del tamaño de la población, del grado de desarrollo comercial e industrial, del nivel de tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales, y de la intensidad de la agricultura.

En 2016, 61% de la población nacional contaba con sistemas de desagüe; la producción de aguas residuales era del orden de 960,5 MMC/año (30 m^3/s) y sólo 20,62% era tratado (198 MMC/año); 4.761 MMC/año eran vertidos directamente a ríos, lagos y zonas marino costeras. Desde el año 2010 hasta julio de 2016, la ANA ha identificado 4147 fuentes contaminantes en las cuencas monitoreadas; 45% corresponde a las cuencas hidrográficas ubicadas en la Vertiente del Pacífico y 55% a las cuencas hidrográficas en las vertientes del Titicaca y Amazonas. Del total de fuentes contaminantes, 90% corresponde a aguas residuales domésticas y 10% a aguas residuales industriales (pasivos mineros, botaderos de residuos sólidos, industrias, etcétera).

De acuerdo con el volumen de uso de agua en el país, se deduce que los sectores que generan mayor volumen de aguas residuales son el sector saneamiento, que cuenta con incentivos para el tratamiento de sus aguas residuales, seguido por los sectores minero, pesquero, industrial de cerveza, papel, cemento y curtiembre; todos ellos cuentan con LMP para sus descargas al medio ambiente. Los sectores a los que falta formular límites de descarga son el hidroeléctrico y el agroindustrial. Las empresas que tienen aprobadas sus autorizaciones de vertimiento suman un total de 586, según la ANA. El mayor volumen de descargas de aguas tratadas es del sector saneamiento, pero en número son más las empresas mineras que cumplen con este procedimiento ambiental. En cuanto a los otros sectores, se observa que el número de empresas que solicitan autorización para sus descargas va en aumento, en salvaguarda de la calidad de las aguas superficiales. El reto del país compartido por todos los sectores es implantar sistemas de tratamiento eficientes de acuerdo con los contaminantes que generan, para que no deterioren la calidad de nuestras fuentes de agua. Los LMP son instrumentos económico-ambientales que deben cumplirse y los ECA son instrumentos ambientales que deben alcanzarse.

h. Lixiviación en agua subterránea y cuerpos de agua

Con respecto a la calidad de las aguas en relación con los procesos de lixiviación existen limitaciones como la escasa información existente sobre el tema, el desinterés de las entidades normativas en el país, a lo que se suma la carencia de metodologías para el control del material lixiviado. Uno de los esfuerzos orientados a tratar este tema analiza la contaminación de las aguas subterráneas como consecuencia de la generación de lixiviados provenientes de la descomposición de cuerpos sepultados bajo suelo en un distrito al sur de la ciudad de Lima (cadaverina, putrescina y virus patogénicos). Si bien se determina que no existe contaminación de las aguas en el acuífero, llama la atención que la normativa y las metodologías para abordar este tema son aún incipientes en el país (Espinoza, 2007).

Quizás la actividad más importante que afecta a la calidad de agua por procesos de lixiviación es la agricultura. La aplicación continua o en exceso de los fertilizantes acidifica los suelos, favorece la erosión, afecta a los organismos (flora y fauna) y altera las propiedades físico-químicas del suelo. Así, los compuestos químicos aplicados a través de los fertilizantes se disuelven en la solución del suelo, son retenidos por las arcillas y la materia orgánica, y se filtran por la porosidad del suelo para llegar a los cuerpos de agua. Las sales y ácidos que alcanzan los cuerpos de agua afectan sus propiedades físico-químicas. Las evidencias indican que algunos pozos de la costa peruana exceden la concentración de nitratos, lo que debe estar relacionado con el uso de fertilizantes o materia orgánica que se mineraliza (Legua *et al*., 2016).

Un factor crítico está relacionado también con los impactos en la calidad del agua por las actividades mineras. Históricamente, las minas en el Perú han sido abandonadas dejando el espacio en condiciones similares a las de operación; es decir, los socavones, tajos abiertos, escombreras y relaveras quedaron a la intemperie, sujetos a inundaciones, erosión, generación de aguas ácidas y desestabilización progresiva del suelo. Entonces, los pasivos ambientales del país son una fuente potencial de sustancias tóxicas que pueden lixiviarse de estas instalaciones, y causar la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales donde descargan (Tovar, 2007). Entre los elementos que pueden infiltrarse están el arsénico, plomo, cadmio, cromo, níquel y cianuro (si es que se usa en el proceso de lixiviación). Si bien se tienen algunos datos de la calidad de aguas con estos parámetros, aún se precisa mejorar la comprensión y la normativa en este tema de trabajo. Un aporte muy importante para el país sería desarrollar una metodología que considere la exposición a lixiviación de materiales, que pueda determinar la aplicación de rangos ponderados para calcular el nivel de vulnerabilidad de los acuíferos cuyas aguas se destinan a abastecimiento de poblaciones.

i. Contaminación emergente

Los contaminantes emergentes son aquellas sustancias químicas o agentes biológicos no regulados, cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva, pero sí lo es la preocupación por sus posibles consecuencias en ecosistemas acuáticos y en la salud humana. Ejemplo de contaminantes emergentes son los fármacos, hormonas, drogas de abuso y productos de cuidado e higiene personal, entre otros (Petrie *et al*., 2015). Estas sustancias son introducidas en el ambiente a través de aguas residuales residenciales e industriales, residuos de plantas de tratamiento, efluentes de hospitales, actividades agrícolas y uso veterinario.

En particular, la venta y uso no regulado de antibióticos en salud humana y animal, y su posible introducción en los ecosistemas acuáticos promueven la evolución de patógenos resistentes a antibióticos y contribuyen a este problema de salud pública global (WHO, 2014). Recientemente, un estudio microbiológico en comunidades peri-urbanas en Lima mostró que varias clases de antibióticos pueden ser detectados en aguas residuales tratadas, y que cientos de genes de resistencia bacteriana derivados de excretas humanas y organismos ambientales pueden sobrevivir a los sistemas de tratamiento y ser reintroducidos en suelos y aguas superficiales a través del uso de efluentes tratados (Pehrsson *et al*., 2016). Se están llevando a cabo estudios similares en hospitales y comunidades en otras regiones del Perú para determinar la magnitud de este problema y su variación temporal y geográfica.

Existe también un interés creciente por el estudio de amebas de vida libre como contaminantes de sistemas acuáticos. Estos son microrganismos eucarióticos capaces de crecer en una gran diversidad de ambientes acuáticos y terrestre, e incluyen especies de alta patogenicidad en humanos, como *Acanthamoeba* principalmente el genotipo T-4, *Naegleria fowleri, Balamuthia mandrillaris, Sappinea pedata* y, más reciente, *Paravahlkampfia francinae* (Hoffman & Michel, 2001). Todas estas amebas pueden ser llamadas "come cerebros", debido a que provocan destrucción sustancial de la masa cerebral. Además de las tres primeras especies altamente patógenas, existen *Vermamoeba vermiformes, Vanellas* sp. y *Vahlkampfia* sp., capaces de albergar bacterias patógenas en humanos. Estas amebas de vida libre suelen estar en cualquier hábitat, pero son más rápidas a través de los cuerpos de agua. En el Perú, estudios preliminares han demostrado que las infecciones cerebrales por amebas son más comunes de lo descrito en estudios de prevalencia global. Se han identificado amebas asociadas a casos de meningitis aguda primaria y meningoencefalitis gra-

nulomatosa, ambos de consecuencias letales. No se dispone de tratamiento estándar, no se conocen los procesos inmunológicos predisponentes en los humanos para adquirir la infección y posteriormente la enfermedad provocada por estas amebas de vida libre. Las fuentes principales de infecciones siempre fueron asociadas al contacto directo con el agua (Cabello-Vílchez, 2016). Estos estudios sugieren que los sistemas acuáticos en el Perú albergan múltiples microorganismos con potencial patogénico y contienen gran número de genes de resistencia a antibióticos que pueden ser intercambiados con patógenos humanos y animales. Métodos de diagnóstico con mayor sensibilidad y nuevas herramientas basadas en biología molecular y genómica permitirán una mejor descripción de estos contaminantes emergentes y sus posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente.

4. Aspectos sociales y económicos

a. Salud humana y calidad del agua

El acceso al agua potable es fundamental para la salud, es un derecho humano básico y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud. La mayoría de los problemas de salud relacionados con el agua se deben a la contaminación por microorganismos (bacterias, virus y protozoos), aunque, existe un número considerable de problemas graves que más bien son consecuencia de la contaminación química del agua de consumo.

Casi siempre se ha estudiado la presencia de bacterias en el agua; como indicador principal de contaminación se ha utilizado al *Escherichia coli* (bacterias coliformes fecales), el cual permite determinar el nivel de calidad del agua para denominarla agua apta o no apta para consumo humano. Sin embargo, poco o nada se conoce/estudia la presencia de protozoarios en esta misma fuente. Los protozoos son capaces de albergar muchas bacterias y/o grupos bacterianos, incluyendo partículas virales como rotavirus (causantes de diarreas en neonatos). Además de las bacterias clásicas, existen también micobacterias ambientales capaces de causar enfermedades intrahospitalarias, que suelen ser difíciles de identificar pues dentro de ellas pasan otros tipos de bacterias (Gram positivas). Cabello-Vílchez y Nuñez-Ato (2018) han identificado 1000 UFC/1L de *Micobacterias* sp. en agua potable en un hospital de Lima. Estos datos podrían dar una idea de los niveles de contaminación bacteriana que suelen pasar desapercibidos en las guías de control microbiológico. De la misma manera, la presencia de amebas de vida libre suele ser indetectable, ya sea por el número reducido de microorganismos o simplemente por la falta de búsqueda de estos organismos.

La situación empeora ante niveles altos de desnutrición y anemia. El INEI (2017) dio a conocer que la prevalencia de desnutrición crónica, según el estándar de la Organización Mundial de la Salud, es mayor en el área rural (25.3%) que en el área urbana (8.2%). Además, indicó que el mayor índice de desnutrición se reportó en las niñas y niños con madres sin educación o con estudios de primaria (27.6%) y en la población infantil menor de tres años (13.6%). Asimismo, se puede observar un decrecimiento fluctuante de los niños y niñas menores de

Figura 6. Niños y niñas menores de 5 años afectados por enfermedades diarreicas agudas

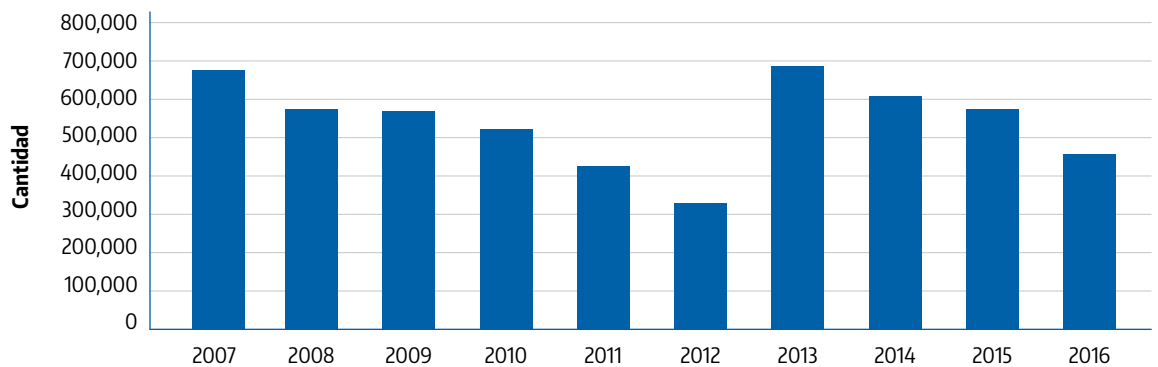
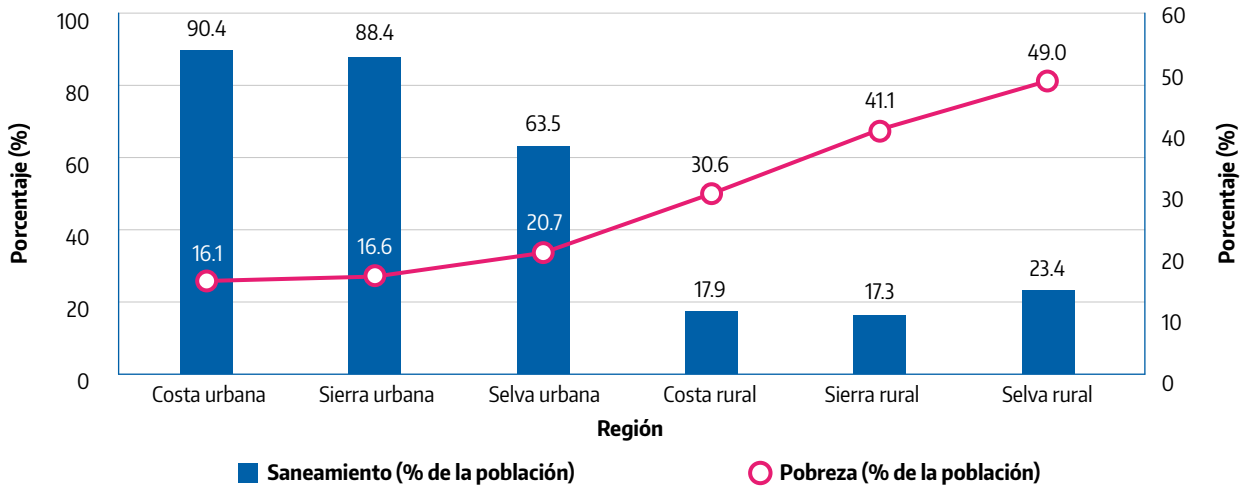


Tabla 2. Enfermedades relacionadas con el agua

Tipo De Enfermedades	Explicación	Ejemplos
Portada por agua	Contaminación fecal	Cólera, tifoidea, salmonelosis, Infección por *Helicobacter pylori*, Hepatitis A y E, poliomielitis, amebiosis y organismos entéricos
Basada en agua	Organismos que pasan parte de su ciclo en el agua	Fasciolosis, paragonimiosis, Schistomiosis, Dracunculiosis
Relacionada con el agua	Insectos vectores que se reproducen en el agua	Malaria, dengue, Filariasis, Oncocercosis, Fiebre amarilla, Arbovirosis (Mayaro, Oropuche, EEV)
Lavada por agua	Relacionadas con la pobre higiene personal y el contacto con aguas contaminadas	Peduculosis, ricketssiosis, escabiosis, tracoma, conjuntivitis, leptospirosis, amebas de vida libre, tifus, enfermedades transmitidas por tics
Difundida por agua	Organismos que proliferan en el agua y entran por el tracto respiratorio	Legionella

Fuente: Cabezas, 2018, modificado.

Figura 7. Relación entre el acceso al saneamiento y la pobreza (% de población), 2015



Fuente: ENAPRES, 2016. Elaboración: Instituto de Estudios Peruanos.

5 años afectados por enfermedades diarreicas agudas (**Figura 6**). Esas variaciones pueden explicarse por factores externos como sequías, inundaciones y plagas, que afectan la calidad de vida en general, incluyendo al agua y generan mayor vulnerabilidad en la salud humana.

Se estima que 54% de la población rural accede al servicio de agua potable con conexión a domicilio y 21% cuenta son sistemas de alcantarillado, pero sólo 3% de éstos se encuentran en buen estado. El uso de letrinas sanitarias es medianamente difundido, pero la mayoría no se usa de manera apropiada. Cuatro de cada 10 niños menores de 5 años no tienen acceso a agua limpia; esos 4 niños son de familias rurales. No obstante, existen muchas otras enfermedades relacionadas con el agua, que son "causadas por ingestión de agua contaminada con excrementos humanos/ animales que contienen microorganismos patógenos o agua contaminada con sustancias químicas". Éstas pueden ser infecciosas, tóxicas o indirectamente relacionadas (Cabezas, 2018) (**Tabla 2**).

El costo anual promedio de los efectos de las carencias de calidad del agua, saneamiento e higiene en la salud ambiental, alcanza un promedio de 3,300 millones de soles (Banco Mundial, 2013). Según Lar-

sen *et al*. (2013), el número de muertes anuales alcanzan 1073 y el promedio de días de enfermedad debido a factores de riesgo ambiental se eleva a 61,549 (2012). Además de ser un país minero desde siglos y tener pasivos mineros, el Perú ha acumulado pasivos/activos provenientes de la presencia importante de la minería ilegal en todos los departamentos del país, así como de operaciones mineras sin responsabilidad social y ambiental; de ahí los severos impactos en la salud humana.

b. Pobreza

Globalmente, el Perú ha hecho grandes progresos en cuanto a revertir las altísimas tasas de pobreza y pobreza extrema existentes hasta el año 2001. En aquel entonces, el porcentaje de pobres alcanzaba 54.8% de la población total, y mientras que la incidencia de la pobreza era de 42% en las ciudades, en las áreas rurales del país casi ocho de cada 10 habitantes (78.4%) se encontraba en situación de pobreza. En la Sierra rural, 83.4% de la población sobrevivía en situación de pobreza (INEI, 2002). No obstante, como lo indica la **Figura 7**, en las zonas de mayor pobreza están las tasas de menor acceso al saneamiento y, consecuentemente, los índices mas altos de EDA y enfermedades relacionadas con la higiene.

Asimismo, se observan las duras condiciones que viven las poblaciones de las áreas rurales donde solamente 2.2% de ellas tiene acceso al agua segura en promedio, siendo los departamentos de Tacna, Madre de Dios y Tumbes los que alcanzan mayores niveles de seguridad (**Figura 8**).

c. Los niveles de educación en las comunidades

El Perú se ubica entre los países de América que menos invierte en educación, con US$ 20,114 por alumno entre 6 a 15 años (2015). Este promedio esconde la criticidad de la situación de la educación en el ámbito rural y la importancia de las brechas. El abandono, el aislamiento y la pobreza imperante se conjugan con las múltiples carencias de maestros bien formados, de materiales, de infraestructura. El Censo Educativo 2017 del Ministerio de Educación (MINEDU) indica que la educación básica regular en zonas rurales comprende más de 51,260 instituciones, que atienden a 1'234,449 estudiantes (16% del alumnado nacional) (MINEDU, 2017). Precisa que 42% de la matrícula rural total y 80% de la matrícula primaria rural están en escuelas multigrado (48% de las IE a nivel nacional), consecuencia de la atomización y dispersión de los centros poblados. "Sin embargo, a pesar del avance en la expansión de la cobertura, una población considerable de estudiantes –principalmente en la Amazonía– aún no tiene acceso a la educación básica completa y hacen falta más instituciones de los niveles secundaria e inicial".

Figura 8. Población con acceso a agua segura en el sector rural (%), en 2015

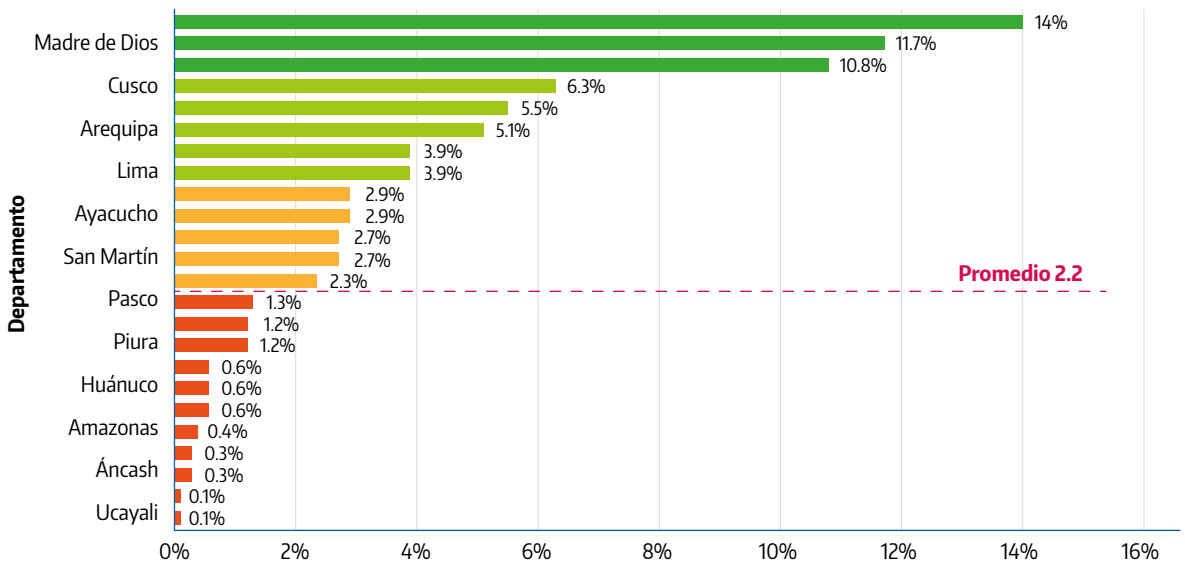
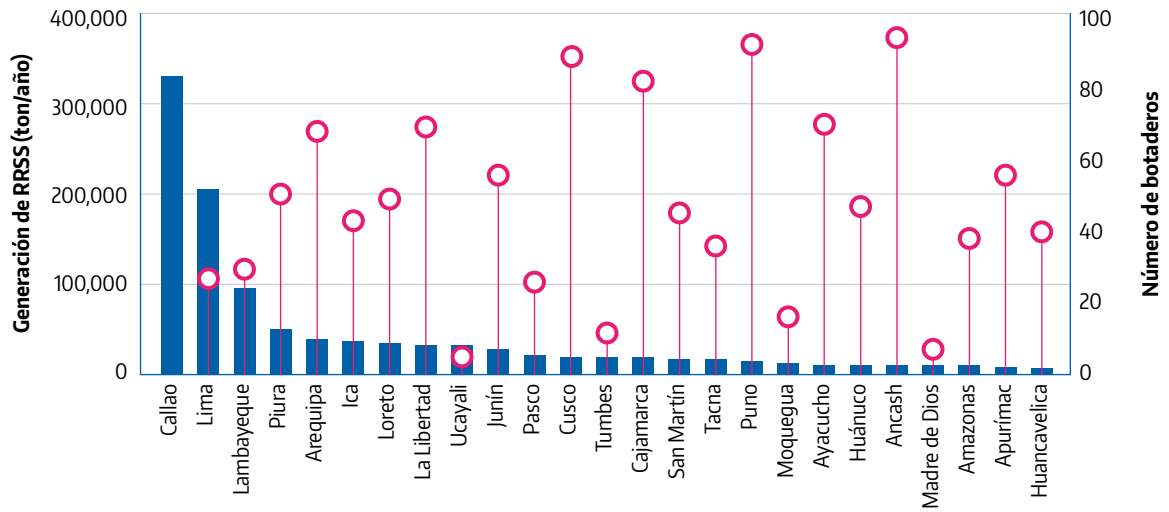


Figura 9. Generación de RR.SS. (ton/año) y cantidad de botadores a nivel nacional (2015)



Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental, Residuos Sólidos–Estadísticas (Barras: generación de RR.SS. Puntos: número de botaderos). MINAM, 2012. http://sinia.minam.gob.pe/temas/residuos-solidos/estadisticas/#

d. Género

A pesar de ser el segundo país de América del Sur en haber elaborado su política y estrategia de GIRH en 2009, creando instrumentos normativos que recogen los principios de Dublín, el Perú no ha integrado la dimensión de género en su última Política revisada en 2015. Hoy, numerosas instituciones públicas apoyadas por las empresas, las academias y la sociedad civil contribuyen a cubrir este vacío. En el ámbito rural, los prestadores de servicios de saneamiento están presididos en 95% por hombres y en 5% por mujeres, según la ficha de diagnóstico del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (SUNASS, 2018). La promoción de la inclusión igualitaria de hombres y mujeres en puestos de toma de decisiones dentro del sector saneamiento ayudaría a asegurar condiciones más equitativas en la gestión y en el acceso al agua y saneamiento. Como lo señaló Ricalde, "a nivel de las JASS, la mujer debe desempeñar su rol como facilitadora en la implementación de acciones de seguimiento y monitoreo en el cumplimiento de tareas relacionadas a la promoción de familias en viviendas saludables". No obstante, se destaca la participación de las mujeres quienes, además de participar en 25% de los cargos directivos de las organizaciones constituidas (comités, juntas y asociaciones), asisten a diversos talleres de educación sanitaria e higiene. Asimismo, participan en capacitaciones para las juntas y otras asociaciones y organizaciones de base (vaso de leche, los clubes de madres, los promotores de salud y la APAFA), donde se abordan temáticas muy variadas (educación y salud comunitaria, hábitos, el agua, el uso de letrinas, residuos sólidos), lo que contribuye a mejorar la calidad de vida de sus hogares.

e. Ciudad y campo

En las áreas urbanas y rurales, la calidad de las aguas está severamente afectada por la mala disposición de los residuos sólidos generados, los cuales, en su proceso de descomposición, generan subproductos en forma de líquido y gases (lixiviados), que alteran la calidad de las aguas. Información sobre los volúmenes generados de residuos sólidos sólo existe para los ámbitos urbanos, a través de lo declarado por los gobiernos locales en el Sistema de Información para la Gestión de los Residuos Sólidos (SIGERSOL). Para el año 2015, se tiene registrado que el país generó más de 7,5 millones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales 64.8% fueron residuos domiciliarios, el resto provino de diferentes sectores, como industriales, comerciales, entre otros (SINIA-MINAM). Lima Metropolitana[2] y Callao concentran 56,9% de la generación de residuos sólidos (**Figura 9**).

2. El valor de los residuos sólidos generados por Lima Metropolitana se omitió, pues invisibilizaba a las demás regiones.

Tabla 3. Tipos de inversiones estatales en agua y saneamiento, 2017

Concepto	Porcentaje
Inversiones de ampliación de cobertura	80.1%
Inversiones en rehabilitación	16.2%
Inversiones en fortalecimiento empresarial y micro- medición	3.7%
Total	**100%**

Fuente: D.S. Nº 018-2017-Vivienda.

Figura 10. Concepto de modelo financiero

Fuente: ANA, 2017.

Según el D.L. N°1278,[3] la disposición final de los residuos sólidos se debe realizar en rellenos sanitarios; sin embargo, los departamentos que cuentan con estas infraestructuras son sólo Lima (3), Callao (1), Ancash (2), Cajamarca (1), Junín (2), Loreto (2), Ayacucho (3), Huancavelica (2), Huánuco (2) y Apurímac (3), recibiendo menos de 50% de los residuos sólidos generados al año (MINAM, 2016). El volumen remanente tiene diferentes destinos finales: una parte es reciclada, pero otra gran parte se dispone en botaderos a cielo abierto, se quema o incinera, o se echa en cuerpos naturales de agua, teniendo consecuencias perjudiciales para el ambiente y para la salud de las personas (propagación de microorganismos patógenos, metales pesados, sustancias tóxicas e hidrocarburos que se encuentran en los lixiviados de los desechos). La presencia de materia orgánica se da en todos los sectores productivos. A través de las bacterias y microorganismos presentes se generan compuestos que acidifican el agua, eliminan el oxígeno vital para las especies acuáticas y hacen que el agua no esté en condiciones para consumo humano, generando además problemas para la salud. Las aguas subterráneas también se ven afectadas por los residuos sólidos en superficie, debido a la infiltración de los lixiviados a través del suelo. No obstante, solamente en pocos casos, se tienen monitoreos de calidad de las aguas. La cobertura de vigilancia del agua es mucho más amplia a nivel urbano que a nivel rural, donde las regiones norteñas y los departamentos de la selva son de menor cobertura de vigilancia: inferior a 30%.

3. Instrumento legal que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

f. Inversiones en programas de calidad del agua

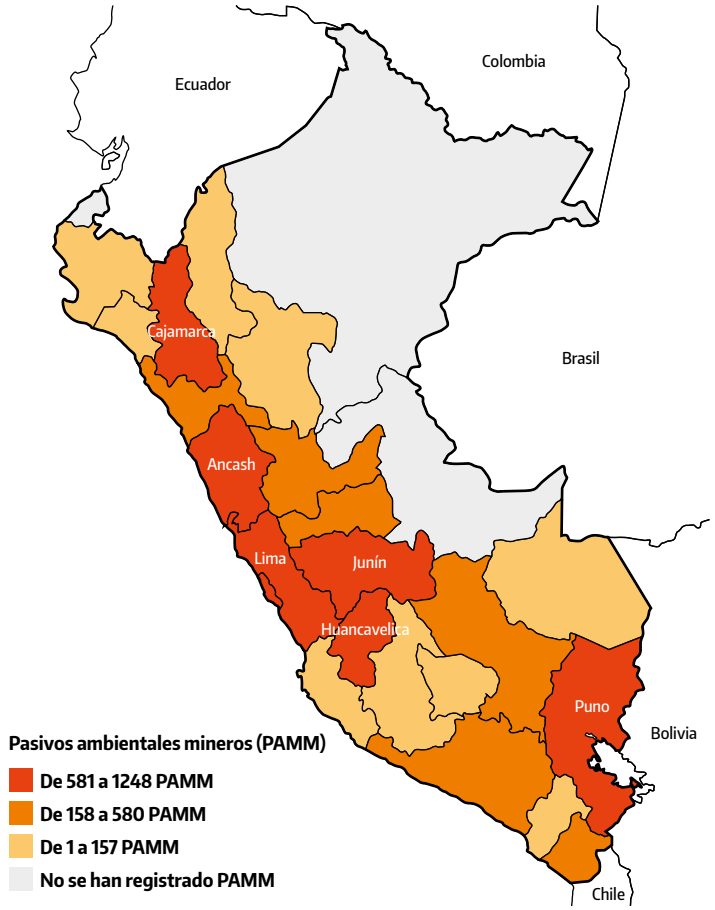
En la memoria 2017-18 presentada al Congreso de la República el 28 de julio 2017, el Gobierno peruano reconoce tres conceptos de inversiones, presentados en la **Tabla 3.** Para revertir las brechas existentes entre ciudad y campo, el Gobierno del Perú aprobó el Plan Nacional de Saneamiento (D.S. N° 018-2017-VIVIENDA) y determinó las inversiones requeridas para el cierre de brechas.

En mérito a ello, el presupuesto de 2017 se ha incrementado en 72% con respecto al año previo, siendo el mayor aumento en los últimos diez años. Asimismo, se han creado varios mecanismos como el Fondo de Inversión Agua Segura (FIAS) (D.L. N° 1284), destinado a financiar programas, proyectos y actividades cuya finalidad es cerrar las brechas de cobertura en agua, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en el ámbito nacional, así como mejorar los servicios que prestan las EPS actualmente. Además, se realizó el "Estudio Financiero para Proyectos Hídricos en el Perú", donde se analizaron los instrumentos financieros disponibles a nivel nacional y local, que promueven la inversión privada y pública para la ejecución de proyectos hídricos (**Figura 10**); el objetivo es priorizar las inversiones y desarrollar las soluciones financieras para ejecutar los proyectos más eficaces. Asimismo, se crearon los MERESE (Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos), mecanismos financieros cuya finalidad es conservar, recuperar y usar sostenibleme los ecosistemas que proveen los servicios ecosistémicos. En la actualidad, existen 22 casos MERESE Hídricos en los que se está levantando información para su diseño y desarrollo.

g. Industria, minería, agricultura y otros

Existen importantes vacíos de información respecto al uso industrial de las aguas y su gestión, así como un difícil acceso a la información existente. La ANA ha registrado y monitoreado más de 100,000 unidades industriales a nivel nacional. El promedio de descarga anual de aguas residuales industriales tratadas en el Perú es de 2.81 hm^3/año. Según DAR (2017), anualmente se descargan al mar cerca de 5 toneladas de arsénico, 122 toneladas de bario, 488 hidrocarburos de petróleo y poco más de 2 toneladas de plomo y de cromo hexavalente, proveniente de las actividades industriales.

Figura 11: Registro de pasivos ambientales



Fuente: Equipo del G.T. Vigilancia Epidemiológica de Riesgos Ambientales [Actualizan el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros, RM N°102-2015-MEM/DM, publicado en *El Peruano* el 9 de marzo de 2015].

País de histórica tradición minera, el Perú cuenta hoy con más de 8000 pasivos ambientales mineros, considerando como pasivo a "todas las instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad" (**Figura 11**).

Primer productor de oro en América Latina y sexto en el mundo, la minería aurífera genera oportunidades económicas para las áreas rurales más pobres del país, como la Amazonía, donde 41% de la población indígena vive en condiciones de extrema pobreza. Sin embargo, se desarrolla una actividad minera informal en la que se usa mercurio, amena-

za que pone en riesgo la salud de las personas y el medio ambiente. La ANA observa que más de 250 unidades mineras operando en plantas de beneficio generan vertimientos de aguas, relaves y desmontes. El vertimiento promedio de descarga de aguas mineras residuales tratadas alcanza 251.72 hm^3/año. No obstante, debe subrayarse que el sector minero reúsa cerca de 6.175 hm^3/año del agua residual tratada, en tanto que el sector saneamiento, 4.074 hm^3/año (DAR, 2017).

En agricultura, más de un millón de hectáreas bajo riego generan aguas de retorno con residuos de agroquímicos, nutrientes y alta salinidad. El promedio de descarga anual de aguas residuales agrícolas tratadas en el Perú es de 1.83 hm^3/año. El promedio anual de reúso de aguas residuales tratadas alcanza 6.018 hm^3/año. El sector agricultura es el más beneficiado con la práctica de reúso de aguas residuales tratadas; ello se observa en la relación reúso/vertimiento, donde 42.13 hm^3 corresponden al reúso, mientras el vertimiento sólo llega a 14.93 hm^3 (DAR, 2017).

h. Conflictos ambientales

Los problemas de contaminación ambiental por metales pesados han originado conflictos socioambientales. La población expuesta reclama un medio ambiente libre de contaminación y que no altere su estado de salud. En agosto de 2017, la Unidad de Prevención y Gestión de Conflictos de la ANA identifica que más de 50% de los conflictos hídricos están relacionados con la tipología de calidad del agua, seguido de los casos vinculados a la calidad-cantidad del agua. Los demás conflictos guardan relación con las percepciones de los actores sobre la presunta afectación a la cantidad y oportunidad del recurso. En cuanto a la ubicación geográfica, se puede decir que las regiones de Puno y Apurímac concentran más de 30% de los conflictos por el agua; las regiones de Ancash, Cajamarca, Cusco, Ica, Junín y Loreto cuentan con un porcentaje similar, mientras que Arequipa, Huancavelica, Madre de Dios, Moquegua, Tacna y Ucayali registran el menor número de conflictos. El esfuerzo de transparencia y de comunicación de la ANA permite acceder a los resultados de los monitoreos participativos de agua de los ríos, aguas arriba y abajo de las operaciones mineras. Sin embargo, la confianza es un proceso lento, que exige cercanía y procesos de comprensión mutua.

5. Hacer frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6)

a. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para todos

La apuesta del país es llegar a que cada persona tenga acceso al agua potable segura, independientemente de si vive en la ciudad o en el campo, en la costa, sierra o selva, considerando que el agua debe ser debidamente tratada y clorada, logrando revertir los bajos niveles actuales.

b. Mejoramiento de la calidad del agua a partir de la reducción de la polución

Algunas entidades trabajan para proteger la salud pública frente a la exposición a agua con elevados niveles de metales pesados y arsénico, aplicando la estrategia de barreras múltiples para reducir riesgos asociados con el abastecimiento de agua de consumo humano (Castro de Esparza, 2016). Estrategias adaptadas son el manejo de los usos del suelo en la cuenca (protección de fuentes de agua), selección de la mejor fuente posible (calidad, cantidad, continuidad), manejo adecuado de aguas residuales, tratamiento adecuado del agua, sistemas de distribución bien diseñados y construidos, O&M, usuarios con buenas prácticas y uso de sistemas.

En Arequipa se están desarrollando alternativas para evitar el uso del mercurio en la minería del oro. Una alternativa es la fusión directa del concentrado de minerales auríferos con bórax para la recuperación del mineral (Eppers, 2017). El bórax es una sustancia de baja peligrosidad para la salud humana, con bajo impacto ambiental, de fácil disponibilidad y de bajo costo. Ensayos realizados han demostrado que este método es superior al de amalgamación y requiere menos tiempo. Otra ventaja es que puede ser aplicado con los equipos utilizados por la mayoría de los mineros de la pequeña minería y minería artesanal, aplicándole pocas modificaciones. Asimismo, un grupo de profesionales peruanos diseñó y fabricó un prototipo de equipos para recuperar el oro en el que se evita el uso del mercurio (Oro ECO-100V y Oro ECO-100H) (Oro Perú, 2010). El aparato fue probado con éxito en Madre de Dios, recuperando 95% del oro presente en la arenilla negra, y sin recurrir al uso del mercurio y mucho menos al del cianuro. Otro ejemplo de mejoramiento de la

calidad del agua es el caso de la cuenca del Río Chili donde, después de los diagnósticos microbiológicos correspondientes, el ANA generó un Sistema de Alerta Temprana para Floraciones Algales Nocivas (SAT FAN) en embalses afectados.

c. Aumento de la eficiencia de uso del agua

A nivel nacional, si la agricultura emplea aproximadamente 86% de la disponibilidad del agua, la eficiencia en el uso del recurso es solamente de 30.35%. Lograr eficiencia requiere prestar atención a tres aspectos clave: (i) la seguridad hídrica por almacenamiento y control de la sobreexplotación de los acuíferos; (ii) la regulación/control del suministro de agua en los sistemas de canales; y (iii) los sistemas de drenaje y la eficiencia técnica de uso en los sistemas afectados por problemas de anegamiento o inundación y salinización de los suelos (MINAGRI, 2015). Encaminarse a la gestión eficiente del agua ha significado para las empresas mineras con responsabilidad ambiental y social, aplicar criterios y reglas de gestión para cada proceso (Espinar, 2017).

d. Gestión integrada de recursos hídricos en todos los niveles

Para fortalecer los procesos de GIRH deben revertirse las brechas de gobernanza hídrica, a nivel de políticas (fragmentación sectorial de funciones y responsabilidades), de rendición de cuentas (falta de vigilancia y evaluación de los resultados), de financiamiento (desajuste entre el financiamiento y las responsabilidades administrativas de los organismos), de capacidades (conocimiento técnico especializado y personal), de información (dispersión y fragmentación de los datos primarios), de objetivos (coherencia entre políticas sectoriales y subnacionales) y de administración (cuencas no coinciden con limites políticos), acorde a los principios de gobernanza hídrica de la OCDE (Pinto, 2016). El ANA inició este proceso con el apoyo de la OCDE.

e. Protección y restauración de los ecosistemas acuáticos

Numerosas instituciones estatales (MINAM, MINAGRI, ANA, SUNASS, SEDAPAL) han articulado y sumado esfuerzos con instituciones nacionales e internacionales (CIFOR, CONDESAN, SPDA, Forest Trends), cooperación internacional (USAID y cooperación canadiense) en la implementación del Proyecto Infraestructura Verde para Seguridad Hídrica. Otras fuentes de cooperación como COSUDE, GIZ, e instituciones intergubernamentales como GWP Sudamérica, WWF, empresas y universidades trabajan activamente en distintas regiones del país para restaurar ecosistemas y mejorar los niveles de seguridad hídrica en todas las regiones. Es así que en la costa, entre otros ecosistemas, se recuperó el humedal de Ite, una antigua zona de vertimiento de relaves, que hoy acoge a más de 126 especies de aves entre residentes y migratorias; en la sierra cusqueña, los humedales de Huasao y Lucre; en la selva, los humedales del Alto Mayo-sector Tingana y el lago Rimachin, en el abanico del Pastaza.

f. Desarrollar la cooperación internacional y construcción de capacidades

En el Informe Perú para el 8° Foro Mundial del Agua Brasilia 2018: Compartiendo Agua, la ANA destaca el rol de la cooperación internacional en el proceso de modernización de la gestión de los recursos hídricos en el Perú (BID, BM, JICA) y de la creación de ocho Consejos de Recursos Hídricos. Asimismo, se está desarrollando el Programa Planeta Azul, con el apoyo de la cooperación israelita y de la UNESCO; este programa cuenta con una metodología participativa y vivencial con la naturaleza, para fomentar el desarrollo del pensamiento científico. Otra iniciativa para revertir las brechas en agua y saneamiento, mientras que se fortalecen las capacidades, es el Proyecto SABA-PLUS de COSUDE, replicado actualmente en 14 regiones y que cuenta con la participación de gobiernos regionales, gobiernos locales, comunidades con juntas de agua y saneamientos, actores de salud y educación, entre otros. El proyecto facilitó la autogestión de los servicios a través del desarrollo de competencias en administración, operación y mantenimiento de los sistemas.

g. Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales

Todos los proyectos de la cooperación internacional consideran en su plan operativo el fortalecimiento de las comunidades locales, con miras a lograr una participación interactiva y que puedan asumir compromisos en la gestión de la calidad y cantidad del agua, así como en la restauración de los servicios ecosistémicos. Para eso, el reconocimiento y res-

peto a los saberes culturales tradicionales es de gran importancia, generando seguridad y confianza en las comunidades, aspectos que impulsan la participación.

6. Experiencias exitosas de mejoramiento de la calidad del agua

a. Restauración de cuencas y planes de protección

Desde la creación de la ANA y a partir de un proceso de mayor institucionalidad, acompañada por diálogos y trabajos transectoriales, se vienen desarrollando diversas experiencias transectoriales exitosas de restauración de cuencas, con la participación de diversos actores. Ejemplo de ello es el Plan de intervención educativa para la recuperación ambiental de la microcuenca del Río Tingo (2013- 2015).[4] Como parte del proceso de activación de la participación ciudadana, se realizaron acciones de limpieza de las riberas del río Tingo y de sensibilización de los pobladores para segregar residuos sólidos y no contaminar las aguas del río. Se logró la formulación de una propuesta de "Lineamientos educativos para la recuperación ambiental de la microcuenca del río Tingo", y de los "Lineamientos para el fortalecimiento de la ciudadanía ambiental en cuencas".

Otro ejemplo es el Programa de "Educación Ambiental para la prevención y recuperación ambiental de la cuenca del Lago Titicaca-Puno", que es parte de las actividades de la Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago Titicaca.[5]

b. Experiencias piloto

El Programa Agua, Clima Y Desarrollo - PACYD Gwp Sudamérica

El Programa está ubicado en la hiperperiferia de Lima Metropolitana en la subcuenca de Santa Eulalia por donde transita 50% del agua que abastece la capital y se produce 70% de la energía eléctrica, haciendo de aquella subcuenca una válvula para la seguridad hídrica y energética de Lima. No obstante, está muy afectada por procesos de cambio climático; fenómenos como sequías e inundaciones impactan la disponibilidad hídrica y afectan a la producción agropecuaria local.

Entre 2014 y 2017, el PACyD ha fortalecido la gobernanza local y facilitado la creación de un Grupo Especializado de Trabajo que integra actores públicos y privados, para participar de la planificación de acciones para la conservación y recuperación de los ecosistemas que proveen servicios hídricos. Viene formulando 5 proyectos para la recuperación de servicios ecosistémicos en los distritos de San Pedro de Casta (1), San Juan de Iris (2) y San Pedro de Laraos (2); también, se formuló un proyecto de investigación para la recuperación de la microcuenca Huaccha en Carampoma. Estos proyectos beneficiarán aproximadamente a 7000 personas, y están incluidos en el Plan Multianual de Inversiones del Servicio de Agua y Alcantarillado para Lima y Callao (SEDAPAL), por lo que su ejecución está asegurada. Asimismo, el PACyD implementará durante el último trimestre de 2018 un proyecto para la construcción y recuperación de amunas en San Pedro de Casta, infraestructura prehispánica para la recarga de acuíferos. Este proyecto se realizará con la participación de la Comunidad Campesina de San Pedro de Casta y permitirá recuperar aproximadamente 2 km de amunas.

En coordinación con el Programa Nacional de Saneamiento Rural (PNSR) del MVCS, el PACyD realizó un diagnóstico del servicio de agua y saneamiento para uso poblacional en los centros poblados (CP) rurales de la subcuenca. Entre los principales hallazgos se identificó que el distrito de Santa Eulalia (parte baja de la subcuenca) cuenta con 13 CP que carecen de sistema de agua y saneamiento, abasteciéndose por manantiales y canales, y usando pozos ciegos o el campo abierto para su disposición de excretas. Además, 90% de los CP no cuenta con sistema de cloración; existe una baja valoración del servicio de agua y saneamiento por parte de la población y una debilidad técnica en la prestación del servicio, tanto por la Municipalidad como por la JASS. En ese sentido, el PACyD viene coordinando con el MVCS y la SUNASS un proceso de sensibilización para la población y fortalecimiento de cada prestador del servicio. Seguidamente, se planifica-

4. Iniciativa desarrollada con la participación de especialistas del Ministerio del Ambiente, de la municipalidad provincial de Pasco y de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

5. Iniciativa desarrollada en alianza con el Gobierno Regional de Puno, la Dirección Regional de Educación de Puno (DRE) y la Unidad de Gestión Educativa Local de Puno (UGEL).

rán intervenciones para mejorar el servicio (prestación e infraestructura), articulando el aspecto natural (calidad de agua, conservación y recuperación de ecosistemas) y el social.

c. Educación, formación y toma de conciencia pública

Entre otras experiencias exitosas, la ANA ha formado "promotores de cultura del agua" a nivel nacional para facilitar los procesos de aprendizaje a nivel local. En ese sentido, el Gobierno ha creado el Servicio Rural y Urbano Marginal de Agua y Saneamiento (SERUMAS) Jóvenes por el Agua, programa que permite a los jóvenes profesionales de diversas especialidades realizar prácticas profesionales, adquirir conocimientos prácticos y emplearlos solidariamente para mejorar la calidad de vida de las poblaciones más vulnerables asentadas en áreas rurales y vecindarios urbano marginales. El Plan Nacional de Educación Ambiental 2017-2022, aprobado con D.S. Nº 016-2016-MINEDU, orienta las acciones de educación ambiental que se desarrollan en el ámbito comunitario, para lo cual, entre otras medidas, se apoyará a las municipalidades en la implementación de programas de educación, cultura y ciudadanía ambiental e impulsará la organización de promotores y voluntarios ambientales comunitarios; complementando a ello, el MINEDU creó el Programa Educativo "Aprendiendo a usar responsablemente el agua potable". Por su parte, el MINAM ha desarrollado iniciativas para la mejora de la educación y el desarrollo de capacidades, tales como la Campaña "Playas limpias".

7. Conclusiones y recomendaciones

Haciendo un balance de las principales características asociadas a la calidad de las aguas en el Perú, es necesario mencionar que los esfuerzos son recientes y, si bien los resultados muestran una toma de conciencia ambiental, llama la atención la ausencia de una política clara, orientada a resolver la falta de tratamiento de aguas residuales en el país. A estas carencias se suman la limitada gobernanza hídrica y los vacíos en la normatividad ambiental, que permitan mayor claridad en las competencias institucionales relacionadas con el monitoreo de la calidad del recurso hídrico.

Un punto álgido se orienta a la débil capacidad de investigación y falta de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales. Dado que los orígenes de los contaminantes provienen de diversas fuentes (pasivos mineros y petrolíferos, vertimientos industriales y poblacionales, minería ilegal, residuos sólidos, entre otros), se requiere un abordaje complejo e interdisciplinar. Es así como la capacidad que requiere el país para la gestión de la calidad de las aguas debe ser sustentada por recursos humanos y económicos capaces de responder preguntas relacionadas a las causas, efectos, tratamientos y costos. A su vez, deben poder abordar la problemática de la contaminación emergente asociada al proceso de cambio climático (fasciolosis, amebas, entre otros).

Acciones importantes para mencionar se relacionan con la estrategia a largo plazo del Estado, que debe estar orientada a informar a la población sobre los impactos de la contaminación del agua en la salud y el ambiente. Esto es un avance importante en el cambio de paradigma frente al recurso hídrico, donde la creación de una cultura del agua permitirá que la población participe activamente en las acciones de recuperación y protección del ambiente. De igual manera, la información y difusión del conocimiento permite trabajar a largo plazo mecanismos orientados al pago por servicios ecosistémicos, pago por el servicio de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

Las principales recomendaciones giran en torno a la creación de capacidades para mejorar la gestión de la calidad, mediante una estrategia y un plan de investigación ambiental que permita implementar centros regionales de investigación ambiental y tecnológica, a fin de abordar desde la problemática local las soluciones adecuadas para el tratamiento o preservación de las aguas. A su vez, dichos planes deberían establecer la rigurosidad en los estudios y protocolos de análisis para asegurar la calidad de la información. Es evidente que estos centros deben ser coordinados por profesionales expertos y capacitados en los temas requeridos.

A nivel de articulación es importante establecer objetivos y metas a corto, mediano y largo plazos que se alineen con los esfuerzos del Gobierno en la educación. Esto permitirá tener resultados de manera coordinada y establecer estrategias desde perspectivas más amplias para la creación de una cultura del agua que se oriente a la conservación del recurso.

Referencias bibliográficas

Alvites, D. (2016). *Peruvian coastal upwelling system: productive, naturally sour and breathless.* Tesis de maestría. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima.

Autoridad Nacional del Agua (ANA), Dirección de Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos (DGCRH) (2012). *Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos en el Perú.* Lima: ANA-DGCRH.

Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2013). *Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú.* Lima: ANA. 255 pp.

Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2016). *Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos.* Lima: ANA. 25 pp.

Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2017). *Compendio nacional de estadísticas de recursos hídricos 2016.* Lima: ANA. 224 pp.

Bernex, N., Novoa, Z. y Korswagen, S. (2014). *Aguas y arsénico natural en el Perú.* 62 pp.

Bernex, N. (2017). Gestión de recursos hídricos, reconstrucción y sostenibilidad. Ponencia presentada en el XII Congreso Nacional y VI Congreso de Geografía de las Américas. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima.*

Bernex, N. y Yakabi, K. (2016). Agua sin mitos. Lima: ANA-PUCP. 187 pp.

Boltan, R. (2017). Gestión del agua en la gestión minera. Ponencia presentada en el XII Congreso Nacional y VI Congreso de Geografía de las Américas. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima.*

Brack, A. y Mendiola, C. (2004). *Ecología del Perú.* Lima: Bruño. Segunda Edición, 495pp.

Cabello-Vílchez, A.M. (2016). *Balamuthia mandrillaris* en el Perú, lesiones cutáneas, meningoencefalitis y métodos de cultivo. *Infectio*, 20(2): 107-119. DOI: 10.1016/j.infect.2015.10.006

Cabello-Vílchez, A.M. y Núñez-Ato, R.G. (2018) "Aislamiento y caracterización molecular de micobacterias no tuberculosas en el sistema de distribución de agua en un hospital de Lima (Perú)". *Revista Biosalud,* 17 (2): 7-24. DOI: 10.17151/biosa.2018.17.2.1

Cabezas, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2): 309-316. Recuperado de: https://rpmesp.ins.gob.pe/index.php/rpmesp/article/view/3761

Carlotto, V. (2014). El arsénico y el mercurio en aguas y suelos de las zonas mineralizadas: El caso de Espinar (Cusco). *Aguas y Arsénico Natural en Perú.* Jornada de la Academia Nacional de Ciencias. Lima: Sociedad Geográfica de Lima. pp. 36-51.

Castro de Esparza, M (2016). *Minimización de riesgos para la salud por metales pesados en el agua de consumo humano.* Expo Agua. Lima: OPS-OMS.

Calderón, J. (2004). *El caso del Perú rural.* ITDG.

Coe, M. T. *et al*. (2009). "The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River: Land Surface processes and atmospheric feedbacks". *Journal of Hydrology*, 369(1-2): 165-174. DOI: 10.1016/j.hydrol.2009.02.043.

Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) y Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) (2006). *Inventario Nacional de Plaguicidas COP.* 58 pp.

Consorcio Typsa-Tecnoma-Engecorps-Typsa, ANA y Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Chancay–Lambayeque (CRHC) (2012). *Diagnóstico Participativo de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chancay-Lambayeque: memoria divulgativa.* Recuperado de: http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1961

Creed, I.F. *et al*. (2011). Hydrological principles for sustainable management of forested ecosystems. *Hydrological Processes,* 25: 2152–2160. Recuperado de: https://doi.org/10.1002/hyp.8056

Croke, J. & Hairsine, P.B. (2006). Sediment delivery in managed forests: A review. *Environmental Reviews,* 14(1): 59-87. DOI: 10.1139/a05-016

Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR) (2017). *Calidad del Agua en el Perú: Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales.* 135 pp.

Encuesta Nacional de Procesos Estratégicos (ENAPRES) (2016). *Avances y desafíos del saneamiento rural en el marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos del Perú.* Elaborado por Venero Farfán, H. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.

Eppers, O. (2017). *El uso de bórax para una producción de oro sin mercurio en la minería a pequeña escala.* 11 pp. Recuperado de https://www.

researchgate.net/publication/318418780_El_uso_de_borax_para_una_produccion_de_oro_sin_mercurio_en_la_mineria_a_pequena_escala

Espinar, A. (2017). Políticas de Gestión del agua en las operaciones de Buenaventura. En revista *PICSA, CMB,* Agosto de 2017.

Espinoza, J. (2007). *Contaminación de aguas subterráneas por lixiviados provenientes de sepulturas bajo suelo en el camposanto "Parques del Paraíso" Lurin – Lima.* Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Fischetti, M. & Christiansen, J. (2018). "Mass extinction in Earth's Oceans could begin by 2100". *Scientific American,* January issue. Recuperado de: https://www.scientificamerican.com/article/mass-extinction-in-earth-rsquo-s-oceans-could-begin-by-2100/

Fontúrbel, F. (2003). Algunos Criterios Biológicos sobre el proceso de Eutrofización a orillas de seis localidades del Lago Titikaka. *Ecología Aplicada,* 2(1), 75-79. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162003000100011&lng=es&tlng=es

Fontúrbel, F. (2004). Modelo operacional ambiental y aspectos sociales relevantes del proceso de eutrofización localizada en cuatro estaciones experimentales del lago Titicaca. *Publicaciones Integrales,* La Paz.

Global Alliance on Health and Pollution. Online publication. Recuperado de: https://www.pollution.org/

Global Green Growth Institute (GGGI), German Development Institute (GDI) y Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) (2015). *Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirla.* 40 pp. Recuperado de: www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Interpretacion-de-la-dinamica-de-la-deforestacion-en-el-Peru-y-lecciones-aprendidas-para-reducirla-1.pdf

Heffermann, O. (2018). Troubled waters. *Scientific American,* 313, 44-49. DOI: 10.1038/*scientificamerican* 0218-44

Hoffman, R. & Michel, R. (2001). "Distribution of free-living amoebae (FLA) during preparation and supply of drinking water". *International Journal of Hygiene and Environmental Health,* 203(3): 215-219. DOI: 10.1078/S1438-4639(04)70031-0

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) (2017). *Estimación del potencial minero metálico en el Perú y su contribución económica al Estado al 2050.* Recuperado de: http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/836906/ESTIMACI%C3%93N+DEL+POTENCIAL+-MINERO+MET%C3%81LICO+DEL+PER%-C3%9A+22+dic.+2017-2.pdf

Instituto del Mar Peruano (IMARPE) (2008). *Monitoreo limnológico pesquero en reservorios de la costa norte del Perú. Informe Anual 2007.* Recuperado de: http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_27)_infomerepresas2007_web.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) (2013). *Anuario de Estadísticas Ambientales 2013.* 639 pp. Recuperado de: http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1140/Libro.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) (2017). *Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES) del 2017.*

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) (2002). *La Pobreza en el Perú en 2001. Una Visión Departamental.* Lima: INEI. 196 pp.

Komárková, J. *et al*. (2016). "Cyanobacterial water bloom of Limnoraphis robusta in the Lago Mayor of Lake Titicaca. Can it develop?". *Hydrobiologia*, 764(1), 249-258. https://doi.org/10.1007/s10750-015-2298-x

Lancet Commissions Report (2017). *The Lancet Commission on pollution and health.* Online publication. Recuperado de: www.lancet.com

Larsen, B. *et al*. (2013). *Economic Assessment of Environmental Degradation in Peru: An update 2012.* Washington DC: World Bank. Unpublished.

Legua, J.A. *et al*. (2016). Evaluación de las Fuentes de Aguas Subterráneas y la Situación Actual de su Almacenamiento y Calidad en el Distrito de Vegueta 2012–2013. *Big Bang Faustiniano,* 5(4): 44-48. Recuperado de: http://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/BIGBANG/article/view/37/36

Lindell, L.; M. Åström & T. Öberg (2010). "Land-use changeversusnatural controls on stream water chemistry in the Subandean Amazon, Peru".

Applied Geochemistry, 25: 485-495. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2009.12.01

Mariano, M. *et al*. (2017). "Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú". *Revista Peruana de Biología,* 17(1), 137-140. Recuperado de: http://www3.redalyc.org/articulo.oa?id=195014936018

Matienzo, R. (2014). *Análisis de la influencia de la represa de Gallito Ciego en la calidad del agua del curso inferior del río Jequetepeque.* Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI (2015). *Análisis de Tendencias que impactan en la Agricultura.* Recuperado de: http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/pnapes/actividades/comision/analisis-tendencias.pdf

Ministerio de Ambiente (MINAM) (2016). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024.* 80 pp.

Ministerio de Ambiente (MINAM) (2012). *Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales: Gestión 2010-2011.* 379 pp.

Ministerio de Educación (MINEDU) (2017). *Resultados del Censo Educativo 2017.* Recuperado de: http://escale.minedu.gob.pe/c/document_library/get_file?uuid=d524d4b5-0dd3-4706-a1e8-c65fb18a-3d77&groupId=10156

Montoya, H., Komárková, J., & Komárek, J. (2015). Cyanobacterial species, potentially forming water blooms in the Lake Titicaca (Peru). *Arnaldoa*, 21(2), 381-390. Recuperado de: http://journal.upao.edu.pe/Arnaldoa/article/view/169/164

Ocola, J. (2016). Protección del agua – Vigilancia y control de vertimientos – PAVER. Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de: http://www.ana.gob.pe/media/353227/4-protecci%C3%B3n%20del%20agua%20vigilancia%20y%20control%20de%20vertimientos%20paver.%20%20lic.%20juan%20ocola.pdf

Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) (1985). *Los recursos naturales en el Perú.* Lima. 326 pp.

Oro Perú (2010, mayo, 7). *ECO-100 equipo para extraer oro sin usar mercurio.* Recuperado de https://www.precioooro.com/eco-100-equipo-para-extraer-oro-sin-usar-mercurio.html

Pastor, R. (2010). Recuperación de suelos salinos para la instalación de césped deportivo en la playa de Asia, Cañete, Lima. Tesis Mg. Sc. Suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.

Pehrsson, E.C. *et al*. (2016). Interconnected microbiomes and resistomes in low-income human habitats. *Nature*, 533: 212-216. DOI: 10.1038/nature17672

Petrie, B. *et al*. (2015). "A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring". *Water Research*, 72: 3-27. DOI: 10.1016/j.waters.2014.08.053

Pinto, Y. (2016). *La Gobernanza y el Marco Legal para la Gestión de los Recursos Hídricos en el Perú.* Recuperado en: http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/ANA/250/ANA0000066.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Riofrío, J. *et al*. (2003). Caracterización limnológica de la laguna de Cashibococha (Ucayali-Perú) durante el año 2001. *Revista Peruana de Biología,* 10(2), 183-194. http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v10i2.2501

Sánchez, C. *et al*. (2013). *Exposición ambiental a múltiples metales pesados en poblaciones del Perú.*

Super Intendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) (2018). *SUNASS visibiliza participación de las mujeres en la gestión del agua y saneamiento.* Noticias. Recuperado de http://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/noticias/item/1510-sunass-visibiliza-participacion-de-las-mujeres-en-la-gestion-del-agua-y-saneamiento

Tovar, J. (2007). *Las aguas subterráneas y la minería en el Perú.* Sociedad Geológica del Perú.

Vidal, C.E. y Cedillo, E. (1988). Los yacimientos de enargita-alunita en el Perú. Trabajo presentado en el VI Congreso Peruano de Geología. *Boletín de la Sociedad Peruana de Geología,* vol. 78, 109-120.

Wang-Erlandsson, L. *et al*. (2014). Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle–Part 1: Temporal characteristics over land. *Earth System Dynamics,* 5(2): 441-469. DOI: 10.5194/esd-5-441-2014

World Health Organization (WHO). *Antimicrobial resistance: global report on surveillance 2014.* Recuperado de http://www.who.int/drugresistance/documents/surveillancereport/en/

Referencias normativas

Decreto Ley N° 17752, Ley General de Aguas. 24 de julio 1969.

Decreto Supremo N° 261-69-AP, Reglamento de los Títulos I, II y III del Decreto Ley N° 17752. 13 de diciembre de 1969.

Decreto Supremo N° 007-83-SA, Modifica el Reglamento del Decreto Ley N° 17752. 11 de marzo de 1983.

Decreto Legislativo N° 613, Código del Medio Ambiente de los Recursos Naturales. 8 de setiembre de 1990.

Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. 13 de octubre de 2005.

Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. 30 de julio de 2008.

Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. 30 de marzo de 2009.

Ley Nº 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos. 28 de junio de 2014.

Decreto Supremo Nº 016-2016-MINEDU, Aprueba el Plan Nacional de Educación Ambiental 2017-2022. 9 de diciembre de 2016.

Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 22 de diciembre de 2016.

Decreto Legislativo N° 1280, Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento. 28 de diciembre de 2016.

Decreto Legislativo Nº 1284, Creación del Fondo de Inversión Agua Segura. 28 de diciembre de 2016.

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. 7 de junio de 2017.

Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, Aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. 21 de junio de 2017.

Decreto Supremo N° 018-2017-VIVIENDA, Aprueba el Plan Nacional de Saneamiento 2017–2021. 23 de junio de 2017.

Resolución Jefatural N° 237-2018-ANA, Conformación de la Mesa Académica del Agua. 14 de agosto de 2018.

República Dominicana

La calidad de las aguas **dominicanas**, hoy día, impacta negativamente en la salud, además de que genera incidencias climáticas extremas, hacinamiento y marginalidad. La producción de alimentos se ve comprometida por la salinización de los suelos, la eutrofización por la utilización de agroquímicos, el uso irresponsable de antibióticos en veterinaria y por la biodiversidad insular. Hay exceso de consumo de agua embotellada por la población debido a la desconfianza hacia el agua de los acueductos. El marco legal vigente adolece de graves deficiencias y se requiere de un nuevo reordenamiento institucional para optimizar la calidad del agua como recurso y como servicio.

Cascada El Limón, República Dominicana © iStock

Calidad del Agua en la República Dominicana

Eleuterio Martínez, Roberto Castillo Tió, Luis Reyes Tatis, Pedro de León y Luis Salcedo

1. Introducción

La calidad de agua es un tema de preocupación prioritaria para la República Dominicana, el cual está ampliamente reflejado y recogido en su ordenamiento jurídico vigente, desde la misma Constitución de la República (2015), hasta las leyes adjetivas; así como en la Estrategia Nacional de Desarrollo (2010-2030), el Reglamento de Calidad de Agua Para Consumo Humano, Decreto No. 42-05 del año 2005 y varias Normas Ambientales sobre calidad de aguas superficiales (2012), subterráneas (2004), costeras (2012) y vertidos (2004).

Aunque en los textos legales queda manifiesto que el mayor interés por la calidad de agua reside en el suministro para el consumo humano, como se verá a continuación, dada la diversidad de usos de este recurso, las demandas voluminosas para sustentar las actividades de desarrollo que demanda el país y los mecanismos naturales para garantizar su permanente recuperación natural, todo ello indica claramente que esta variable debe ser abordada y enfocada desde los mismos marcos regulatorios hacia las incidencias ejercidas por el poderoso sector agropecuario y la minería, la salinización de suelos agrícolas, los efectos del agua de retorno en algunas regiones, la eutrofización en cuerpos de aguas y la deforestación en las laderas medias y de altas montañas en el territorio nacional.

1.1. Problemática de la calidad del agua

La calidad del agua es el principal desafío para sus diferentes usos, no sólo por la alteración de su composición, sino por el tipo de gestión en la preservación del recurso –que amerita un reordenamiento institucional–, en el manejo del recurso y en la prestación del servicio para consumo humano y la salud pública. Actualmente, la calidad de las aguas dominicanas refleja impactos directos, considerables y recurrentes en la salud (enfermedades epidémicas y emergentes), incidencias climáticas extremas, hacinamiento, marginalidad, la producción de alimentos (salinización de suelos, degradación, eutrofización sobre uso de agroquímicos en la horticultura y la floricultura), la ganadería intensiva (bovina, avícola, porcina, uso irresponsable de antibióticos en veterinaria) y la biodiversidad insular. Otro

Eleuterio Martínez. eleuterioporlavida@gmail.com Coordinador del capítulo. Ingeniero Forestal con Especialidad en Ecología y Medio Ambiente; Vicepresidente de la Academia de Ciencias de la República Dominicana; Catedrático de la Universidad Autónoma de Santo Domingo; Punto Focal IANAS. **Roberto Castillo Tió.** Ing. Especialista Calidad de Aguas, Mesa del Agua (MEPyD). **Luis Reyes Tatis.** Ing. Hidrólogo, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. **Pedro de León.** Hidrólogo, Instituto Nacional de Agua Potable y Saneamiento. **Luis Salcedo.** Hidrólogo, Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo.

aspecto relacionado con la calidad es la gestión de los acueductos que ocasiona el fenómeno de la desconfianza en el agua suministrada por ellos y que se manifiesta en el uso intensivo de agua embotellada (78% de la población) para la ingesta humana. El marco legal vigente –descrito más adelante– señala el solapamiento de competencias institucionales, indefiniciones de roles (principalmente en la gestión de contaminantes), aspectos sociales y obstáculos para alcanzar la optimización en la calidad de las aguas nacionales, indicando la necesidad de un nuevo reordenamiento institucional del sector agua como recurso y el agua como servicio.

2. Autoridad institucional y gobernanza de calidad de agua

2.1 Marco legal

En la Carta Magna o Primera Ley de la República se dedican tres artículos al tema del agua (15, 67 y 75 numeral 11), donde se establece su carácter patrimonial y estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible e inembargable y esencial para la vida, donde el consumo humano tiene prioridad sobre cualquier otro uso, así como el deber del Estado de garantizar su calidad y cantidad.

En la Ley Marco o General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales se dedica el Capítulo III al Recurso Agua, el cual contiene diez artículos (del 126 al 135), donde se pone especial énfasis en conservar su calidad, muy especialmente los 127 y 130, en los cuales se establece el derecho de toda persona a utilizar este recurso para satisfacer sus necesidades vitales de alimentación e higiene, evitando actividades que puedan deteriorar, menoscabar o alterar su calidad, o que imposibiliten igual aprovechamiento por terceros.

La Estrategia Nacional de Desarrollo (END) 2010-2030, en atención a que la Constitución Dominicana asume y obliga al Estado a garantizar el cumplimiento del Derecho Humano al Agua y al Saneamiento, define los recursos hídricos como patrimonio nacional estratégico, tomando en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en particular el ODS-6 (Agua y Saneamiento), el cual señala como su Eje N° 1, el "establecimiento de una sociedad con acceso universal al agua con servicios de calidad de cara al 2030".

Tanto la Ley de Aguas vigente como la nueva que cursa en las cámaras legislativas establecen mandatos y disposiciones específicas destinadas a la preservación de la calidad del recurso. La Ley 5852 de 1962 sobre Dominio de las Aguas Terrestres y Distribución de las Aguas Públicas dedica los artículos 42, 43, 107 y 122 a establecer disposiciones que eviten la contaminación y propicien la remediación, la creación de una Policía de Aguas, así como la definición de las infracciones y el establecimiento de las respectivas sanciones.

La nueva Ley Sectorial de Aguas cursando en las cámaras legislativas (Congreso Nacional) establece en el Artículo 2 como objeto de ésta: "garantizar la Seguridad Hídrica de la República Dominicana, mediante la disponibilidad del recurso agua en calidad y cantidad suficientes y en la oportunidad en que sea requerida" y en el Artículo 4 establece claramente que el "Acceso al Agua (calidad y cantidad)" es un derecho humano, como lo establece la Constitución de la República.

De igual manera ocurre con la Ley N° 5994 de 1962 que crea el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA), institución que le brinda servicio a 25 de las 32 demarcaciones territoriales de la República Dominicana, mientras que las 7 restantes son atendidas por las leyes: 498 de 1973 que crea la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), 582 de 1977 que crea la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN), 89 de 1997 quien crea la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Moca (CORAAMOCA), 142 de 1997 la cual crea la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Puerto Plata (CORAAPLATA), 385 de 1999 quien creó la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de la Romana (COAAROM) y, por último, la ley 428 de 2006 que creó la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Boca Chica (CORAABO). En el siguiente mapa de cobertura por demarcación territorial se puede apreciar los dominios del INAPA y cada una de las CORAS. Todas estas instancias legales tienen en común la finalidad de garantizar la calidad de agua suministrada a sus respectivas ciudades.

2.2 Gobernanza de calidad del agua

A juzgar por la profusión de mandatos en los textos legales, reglamentos, normas y disposiciones administrativas, el tema de la calidad del agua en

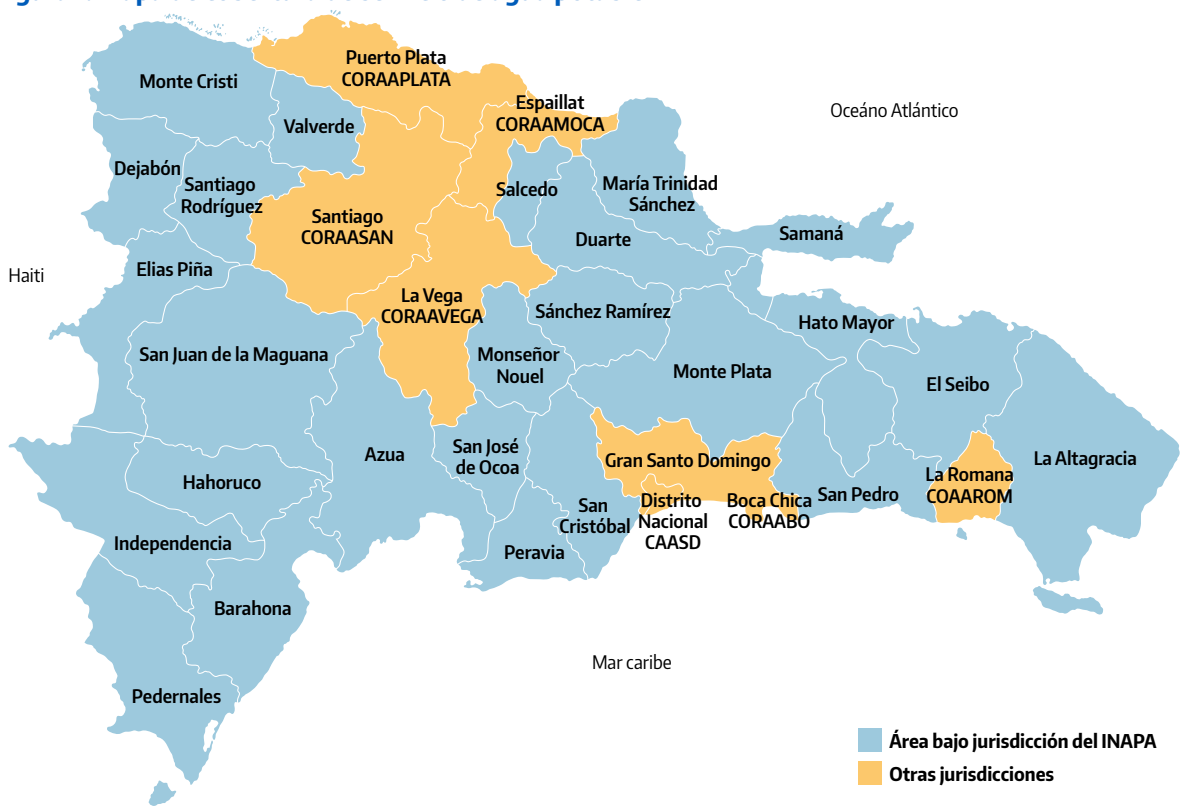
el país luce sobredimensionado en intención y poco eficiente en la realidad, a causa del solapamiento de competencias, como se aprecia en el **Cuadro 1.**

Ante este marco de dispersión y superposición de funciones, el Poder Ejecutivo creó la Mesa del Agua (Decreto 265-16), presidida por el Ministro de Economía Planificación y Desarrollo, como instancia de coordinación interinstitucional del sector agua y lo referente al manejo integrado de cuencas, hasta que entren en vigencia las modificaciones estructurales que se discuten en los anteproyectos de la Ley Sectorial del Agua como recurso y la Ley del Servicio de Agua Potable y Saneamiento. Entre las instituciones que forman parte de la Mesa del Agua figuran: el Ministerio de Salud Pública (MSP), el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA), el Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Energía y Minas, la Corporación de Acueductos y Alcantarillados de Santo Domingo, la Corporación de Acueducto y Alcantarillados de Santiago, y las corporaciones de la Ciudad de Moca, Provincia de Puerto Plata, del Municipio de Boca Chica, de las provincias de la Romana y la Vega, la Federación Dominicana de Municipios, la Liga Municipal Dominicana, el Consejo Nacional para el Cambio Climático y la Empresa de Generación de Hidroelectricidad.

En síntesis, la calidad hídrica en la República Dominicana, en la práctica cotidiana, se rige por tres normas ambientales, la serie Normas Dominicanas de Calidad que establecen los parámetros de análisis y un reglamento, el cual define el concepto 'calidad del agua' en los siguientes términos:

"Conjunto de características del agua, determinadas básicamente por los valores establecidos en la presente reglamentación de concentraciones máximas admisibles y las establecidas en las guías de calidad, que aseguran la inexistencia de algún tipo de riesgo o peligro de carácter sanitario; así como del buen servicio, funcionamiento y mantenimiento en

Figura 1. Mapa de cobertura de servicio de agua potable



Fuente: INAPA-BANCO MUNDIAL, 2016.

Cuadro 1. Esquema de competencias sobre calidad de aguas

Institución	Función	Marco legal	Naturaleza	Traslapes y choques con:
Ministerio de Salud Pública (MSP)	Rectoría, regulación, vigilancia. Sistema de Salud.	Ley n.º 42-01	Estatal (Gobierno Central)	» INDOCAL, en normativa y vigilancia sobre la calidad del agua potable. » Min. del Ambiente, en normativa y vigilancia en el manejo de aguas residuales. » INAPA, en control, diseño, autorización y ejecución de obras sanitarias.
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARENA)	Rectoría, gestión, regulación, vigilancia del medio ambiente y los recursos naturales.	Ley n.º 64-00	Estatal (Gobierno Central)	» INDRHI, en la administración del recurso agua. » INDOCAL, en normativa sobre vertidos de aguas residuales. » MSP, en el manejo de excretas.
Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD)	Órgano rector del ordenamiento y la formulación de políticas públicas de desarrollo.	Ley n.º 496-06	Estatal (Gobierno Central)	» INAPA y CORA, por ejecución del Proyecto Agua y Saneamiento en Centros Turísticos (PASCT).
Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI)	Control y regulación del uso del agua. Protección de cuencas.	Ley n.º 6-1965	Público estatal autónomo; adscrito al Ministerio del Ambiente	» MARENA, por control del agua INAPA, en ejecución acueductos y gestión agua de pozos.
Instituto Dominicano de Calidad (INDOCAL)	Organismo oficial de normalización, brinda apoyo a ministerios en el proceso de creación de reglamentos técnicos.	Ley n.º 166-12	Entidad técnica del Consejo Dominicano de Calidad (Adscrita a MEPYD)	» MSP, en normativa y control de la calidad del agua potable embotellada.
Ministerio de Turismo (MITUR)	Supervisión, diseño y construcción de obras de infraestructura de complejos turísticos a través de CEIZTUR.	Ley n.º 84-79	Estatal (Gobierno Central)	» INAPA y CORAS, por la ejecución de proyectos de saneamiento en los polos turísticos.
Ayuntamientos	Gobierno local. Coordinación político-administrativa.	Ley n.º 176-07	Autónoma. Unidad Básica político-administrativa del Estado.	» INAPA, por la ejecución de sistemas de APS.
Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (INAPA)	Rectoría, regulación y operación de servicios de APS.	Ley n.º 5994 del año 1962	Autónoma Estatal. Adscrita al MSP	» MSP, en control, diseño y autorización en la ejecución de proyectos. » INDRHI, en la construcción de acueductos y control de pozos de agua para consumo humano.
Corporaciones de Acueductos y Alcantarillado (CORAS)	Rectoría, regulación y operación de servicios de APS en el DN, seis provincias y un municipio.	Leyes n.º 498- 73 582-77 142-97 89-98 385-98 512-05 428-06	Autónomas del Estado.	» MSP, en control, diseño, autorización y ejecución de proyectos. » MEPYD, por la ejecución de proyectos de saneamiento.

Fuente: MAPAS – II – D (BM, INAPA, WSP, APS), 2016.

todo el sistema de abastecimiento, consiguiendo satisfacer las necesidades y derechos básicos de usuarios y consumidores".

Como se pudo apreciar en el **Cuadro 1**, la Ley N° 42 de 2001 otorga al MSP la función de "rectoría y vigilancia" de la calidad del agua a nivel nacional, función que cumple mediante la aplicación del Decreto N° 42-2005, el cual establece el Reglamento de Calidad de Aguas para Consumo Humano y además regula toda actividad que pueda afectar la calidad del agua en las cuencas hidrográficas, su uso para riego agrícola, así como la aplicación de las normas establecidas al respecto por las prestadoras de servicios a la población.

Las normas ambientales establecidas por mandato de la Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales (N° 64-00) son: 1. Norma de calidad del agua y control de descargas, 2003; 2. Norma ambiental sobre calidad de aguas subterráneas y descargas al subsuelo, 2004, y Norma ambiental de calidad de aguas superficiales y costeras, 2012.

El Instituto Dominicano de Calidad ha establecido 14 normas nacionales de procedimiento para el análisis de la calidad de agua, donde 11 están listas y en vigencia, mientras que 3 se encuentran en fase de elaboración.

2.3 Propuesta de reordenamiento institucional

El agua dulce es un bien escaso que debe administrarse ajustado al ciclo hidrológico, tomando en cuenta los conceptos de cuencas hidrográficas y cuencas hidrológicas conducentes al desarrollo sostenible del territorio nacional. En este contexto, el concepto "calidad" es uno de los factores que proporciona inseguridad hídrica, pues limita el aprovechamiento del agua para los diferentes usos. De ahí que exista una normativa para la calidad del recurso, cuando es fuente para los acueductos (sistemas de abastecimiento) y otra calidad para los ríos y escurrimientos superficiales en su aprovechamiento para otros usos, con funciones taxativas y separadas.

La propuesta de Ley de Agua como recurso plantea la separación de roles a tres niveles:

- 1° Rectoría: Estaría bajo la dirección del MARENA, responsable de las políticas, planificación del recurso y del financiamiento del sector.
- 2° Organismos sectoriales: a. Agua potable y el saneamiento, b. Desarrollo agropecuario, c. Producción de hidroelectricidad, d. Sector industrial, e. Minería, f. Turismo y g. Obras hidráulicas.
- 3° Organismo ordenador de las aguas en el territorio nacional, que sería la máxima autoridad técnica y responsable de hacer cumplir la Ley de Agua como recurso y de vigilar el cumplimiento de las directrices trazadas por la rectoría.

La Ley de Aguas Potables y Saneamiento (APS) estará bajo la rectoría del organismo ministerial de salud pública, con estructura similar al segundo nivel (prestadoras de servicios públicos o privados) y se transformaría el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA) en un ente regulador y máxima autoridad técnica del sector, desprendiéndose de las funciones constructivas.

3. Situación del Agua en República Dominicana

3.1 Disponibilidad de agua

El país tiene seis regiones hidrográficas con 97 cuencas principales y 556 secundarias, según se establece en el Plan Hidrológico Nacional (INDRHI, 2012), el cual indica que la disponibilidad de agua superficial de la República Dominicana es de 23,497.69 millones de m^3 (Mm^3) al año.

En 2018, la disponibilidad real de aguas que tiene el país es de 25,966.69 millones de m^3 (Mm^3) (ver **Cuadro 2**); si a la disponibilidad de agua superficial 23,497.69 millones de m^3 (Mm^3) o de escorrentía (ríos y corrientes menores) se le suma la disponibilidad subterránea, que es de 2,469 millones de m^3, estos 25,966 millones de m^3 de disponibilidad total equivalen a unos 823 m^3/s (metros cúbicos por segundo), estimando que la precipitación media anual del país es de 1,410 milímetros y la pérdida de casi 70% de manera natural (evaporación directa y evapotranspiración), según los cálculos de Reynoso (2017).

Si solamente tomamos en cuenta el agua superficial que se mueve por los ríos y otras fuentes, la disponibilidad de agua de fácil acceso sería de 2,310 m^3 por habitante, al considerar que la República

Dominicana tiene al finalizar 2017 una población de 10,169,172 habitantes, según la proyección de la Oficina Nacional de Estadísticas. Pero si a la disponibilidad de agua corriente le sumamos la disponibilidad de agua subterránea, la disponibilidad real sería de 2,553 m^3 por habitante.

La FAO (2015) maneja las mismas informaciones, pero haciendo la siguiente precisión: *"Los recursos hídricos subterráneos se estiman en 4,161 millones de m^3/año, todos considerados como caudal base o superposición entre agua superficial y agua subterránea. La disponibilidad de agua subterránea aprovechable se ha estimado en 2,469 millones de m^3/año".*

En el Plan Hidrológico Nacional del INDRHI (2012) también se establece que en las 35 presas y embalses hay capacidad de almacenar unos 2,144 millones de m^3, los cuales aumentan considerablemente la disponibilidad de agua a nivel global a unos 32,740 millones de m^3, aunque en términos prácticos eso no ocurre en la realidad, pues estas informaciones solamente son válidas en condiciones teóricas. No obstante, la información es válida ante situaciones de crisis, pues la eficiencia del uso del recurso podría aumentar considerablemente con políticas de ahorro y gestión responsable de los recursos hídricos nacionales.

La FAO (2015) establece que la capacidad máxima de los embalses es de 2,301 millones de m^3, de los cuales los grandes embalses (aquellos cuya capacidad de almacenamiento es superior a los 100 millones de m^3) almacenan 85% de la capacidad total. En su mayor parte, se trata de embalses multipropósito (abastecimiento a la población, control de inundaciones, riego y energía hidroeléctrica), excepto algunos pequeños embalses que son utilizados sólo para la generación de energía eléctrica.

Los embalses de mayor capacidad son Hatillo (441 millones de m^3) en el río Yuna, Sabana Yegua (401 millones de m^3) en el río Yaque del Sur, Monción (360 millones de m^3) en el río Mao, Bao (244 millones de m^3) en el río Bao y Valdesia (185 millones de m^3) y Jigüey (167 millones de m^3), ambos en el río Nizao.

Las aguas subterráneas representan 60% de la disponibilidad de los recursos hídricos en el país. El 77% de las aguas subterráneas provienen de la recarga directa de las lluvias o de la infiltración desde los cauces fluviales, 15% de retornos o infiltraciones de agua de riego y el 8% restante a conexiones laterales con zonas contiguas.

Todos estos datos, al analizarlos y contrastarlos con la realidad del país en estos momentos, indica que la República Dominicana dispone de agua suficiente para el abastecimiento de agua potable para su población y sustentar las principales actividades que actualmente le sirven de base a su desarrollo.

La situación actual del agua de República Dominicana está reflejada en los siguientes cuadros que detallan la realidad imperante en el país.

3.2. Situación actual del uso del agua

3.2.1 Déficit en el suministro

Al finalizar el año 2017 y comenzar 2018, las principales ciudades dominicanas atraviesan por un déficit marcado en el suministro de agua potable; es el

Cuadro 2. Disponibilidad de agua en la República Dominicana (calculada en millones de metros cúbicos por región hidrográfica)

N°	Región Hidrográfica	Agua Superficial (millones de m^3)	Agua Subterránea Aprovechable (millones de m^3)	Disponibilidad Real (millones de m^3)
1	Yaque del Norte	2,905.46	181	3,086.46
2	Atlántica	4,634.73	216	4,850.73
3	Yuna	3,600.96	236	3,836.96
4	Este	3,125.95	758	3,883.95
5	Ozama/Nizao	4,459.08	457	4,916.08
6	Yaque del Sur	4,771.51	621	5,392.51
	Total Disponible	**23,497.69**	**2,469**	**25,966.69**

Fuente: Elaboración con base en el PHN-INDRHI (2012) y Fany Vargas (2014).

caso de la ciudad de Santo Domingo, capital dominicana, donde la continuidad del servicio no supera 10% de los hogares (CAASD, 2017), y Santiago de los Caballeros (CORAASAN, 2017), la segunda urbe más poblada del país, tiene una situación similar según los reportes que la Academia de Ciencias de la República Dominicana acaba de recibir del Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado; son muy pocas las ciudades del interior donde existe una situación de mayor eficiencia en el servicio.

Sólo con ligeras variaciones, en las dos ciudades más grandes del país –Santo Domingo y Santiago–, que concentran en estos momentos una población de 4.5 millones de personas de los 10,266,149 de habitantes que tiene la República Dominicana, el consumo de agua per cápita supera los 112 galones diarios, unos 425 litros/persona/día. Sin embargo, el Reglamento 42-05 de agua para consumo humano del MSP establece en su Art. 65 las dotaciones mínimas para los casos en que no existan estudios específicos o regionales; las dotaciones guía varían en clima cálido y tamaño poblacional mayor de 150,000 habitantes en 350 litros/personas/día.

3.2.2 Situación del consumo

Es decir, el país está superando dos y tres veces el consumo de agua de las naciones desarrolladas, pero la realidad es que este dato incluye el gran volumen de agua que se pierde por fugas y desperdicios: más de 50%. Ninguna de las instituciones de las APS tiene un Plan de Corrección de Fugas dentro de un Programa de Control de Pérdidas.

Pero a la situación de la agricultura de riego, que lidera la demanda de agua por encima de todos los demás sectores juntos, es preciso suministrarle 5 m^3 por segundo, con la finalidad de que desperdicie 4 (huella ecológica azul) y aproveche uno (huella ecológica verde) para prácticamente todos

Cuadro 3. Situación de los recursos hídricos del país (principales Indicadores)

N°	Características Generales	Rep. Dominicana
1	Superficie	48,670 km2
2	Población 2017	10,169,172 habitantes
3	Precipitación media	1,500 mm/año
4	Volumen precipitación	73 km3
5	Volumen evaporado	51 km3
6	Volumen disponible	23.497.69 km3
7	Volumen per cápita	2,310 m3/h
8	Índice de déficit hídrico (OMM)	1,000 m3/h
9	Índice del grado de competencia	Problemas generales
10	Grado de competencia en sequías	Tensión hídrica

Fuente: Elaboración propia con base en informaciones de Héctor Rodríguez (2006) y ONE (2017).

Cuadro 4. Demanda de agua proyectada por sectores (millones de m^3/año)

Sector	2005	2010	2015	2020	2025
Agua Potable	679.86	760.76	843.80	928.50	1,013.08
Riego	6,429.85	4,878.90	3,327.95	2,894.43	2,460.90
Pecuaria	538.24	835.80	1,133.35	1,430.91	1,728.47
Ecológica	3,675.60	3,675.60	3,675.60	3,675.60	3,675.60
Industrial	259.10	586.07	659.88	716.80	793.02
Turismo	43.71	94.29	124.80	165.98	221.57
Total	**11,626.36**	**10,831.42**	**9,765.38**	**9,812.22**	**9,892.64**

Fuente: INDRHI (2012): Plan Hidrológico Nacional.

Cuadro 5. Demanda de agua en la minería (2005-2030)

Región Hidrográfica	Demanda de agua para Subsector Minería 2005-2030 (millones de m³ / año)					
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Yaque del Norte	1.22	3.40	3.79	4.06	4.46	13.55
Yuna	0.92	1.11	1.31	1.53	1.75	1.62
Ozama – Nizao	3.59	9.91	11.03	11.77	12.89	1.80
Este	0.75	0.90	1.07	1.25	1.43	1.98
Atlántica	0.48	1.27	1.43	1.54	1.70	1.76
Yaque del Sur	0.82	0.99	1.17	1.36	1.56	4.71
Total	**7.77**	**17.58**	**19.80**	**21.50**	**23.79**	**25.41**

Fuente: Naciones Unidas-INDRHI.

los cultivos bajo irrigación. Es decir, la eficiencia en la agricultura de riego varía entre 20 y 25%, y sólo en casos excepcionales se ha alcanzado 32%; el resto se desperdicia.

3.2.3 Demanda por sectores

a. Agrícola

El estudio más reciente sobre el consumo de agua en República Dominicana, "Contraste de la Disponibilidad y Demanda de agua por Provincia" (2017), del especialista hidráulico Gilberto Reynoso, establece que la demanda de agua para la agricultura en el país asciende a 80%, mientras que 12% se destina al consumo humano y el restante 8% se emplea para el turismo, la industria y otros usos. Esta realidad contrasta con la disponibilidad y demanda a nivel global o mundial, donde 20% se destina a la agricultura, otro 20% para los demás sectores y 60% se destina al consumo humano.

b. Turismo

La demanda de agua para el sector turístico crecerá considerablemente en los años próximos, de continuar el ritmo de afluencia o llegada de visitantes extranjeros. En estos momentos el turismo en República Dominicana supera los 7 millones de visitantes por año, según datos estadísticos del Banco Central de la República Dominicana (2017) y se proyecta que la afluencia de turistas al país será mucho mayor cuando se calcule 2018.

El déficit de agua potable en la Región Oriental, donde se encuentran las principales zonas hoteleras de este polo turístico, es mucho más evidente y como el único suministro proviene de fuentes subterráneas (acuíferos), la sobreexplotación ha provocado el avance de la cuña de sal por la intrusión subterránea del mar, la cual ha avanzado más de 11 kilómetros tierra adentro, lo que genera otra serie de problemas asociados.

Es decir, la crisis en el abastecimiento de agua potable para este sector, actualmente soporte principal de la economía dominicana, está muy próxima, razón por la cual el Gobierno dominicano tendrá que recurrir a crear la infraestructura necesaria para el aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales, que son bastantes abundantes, pero todavía desaprovechados por la falta de planificación o el desarrollo turístico casi espontáneo e inusitado que se ha dado en esta región. De mantenerse esta tendencia, es evidente que el colapso de las fuentes de abastecimiento puede darse en el corto o mediano plazos.

c. Minería

La minería es el sector de la economía dominicana de gran peso en el producto interno bruto y, cada día, amerita una atención especial por los volúmenes de agua estimados como un porcentaje del consumo industrial (periodo 2005-2030) para la extracción de oro y plata, ferroníquel y otros bienes metálicos (ver **Cuadro 5**).

La demanda de agua para la minería (2020-2030) se proyecta en 23.57 millones de m^3 por año y en las regiones donde se desarrolla la actividad minera debe priorizarse el agua como derecho humano para las poblaciones aledañas.

d. Demanda de agua dulce por sector productivo

En la República Dominicana se identifican seis (6) grandes usos del agua (ver **Cuadro 6**) de los cuales el agua potable es el prioritario y representa un 7% de la demanda total para todos los usos. En el caso del riego se estima en un 50% en el año 2015 y una ligera disminución para el año 2020 de 49% y 47% para el año 2025. En cambio la pecuaria incrementa su participación en la demanda de agua de un 9% en el año 2015 a un 13% al año 2025. El consumo de agua ecológica prácticamente se estima constante del orden del 28%.

3.2.4 Demanda de agua de la capital dominicana

Todos los sistemas suministro de aguas potables existentes, aportan diariamente al Distrito Nacional y a la provincia de Santo Domingo un caudal aproximado entre 18.0 y 22.0 m^3/s, para abastecer una población que supera los 3.5 millones de habitantes, la cual desperdicia entre un 54 y el 60%, incluyendo las fugas por la obsolescencia en líneas de la red de distribución, a lo que se suma las faltas de reales sistemas de macro y micro medición (CAASD, 2018).

Sin embargo, la cantidad que realmente usa la ciudadanía varía entre 9.0 y 12.0 millones de metros cúbicos diarios (Salcedo, 2018). Todo ello indica que, si Santo Domingo tuviese una política permanente de educación ciudadana orientada al ahorro y el uso responsable de sus aguas, asociado a un programa realmente efectivo de corrección de fugas, no se podría estar hablando de escasez, como ocurre en la actualidad, aún en los peores escenarios (**ver Cuadro 7**).

3.2.5 Fantasma de la escasez

Es decir, siempre que la disponibilidad de agua a nivel nacional se mantenga por encima de los 2,000 m^3 por persona por año, no se puede hablar de escasez, pues el estado crítico se da cuando la disponibilidad baja de los 1,600 m^3/hab/año. Esta situación proyectada a 2020, la disponibilidad sería de 2,485 m^3/hab/año y aun 10 años más (2030) estaría en condiciones normales, al mantenerse por encima de los 2,300 m^3/hab/año.

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos presenta escenarios más críticos, pero es por estimar una población mucho más alta que la calculada

Cuadro 6. Demanda de agua por sector (millones de m^3/año)

Sector	2015	%	2020	%	2025	%
Agua potable	843.80	7	928.50	7	1013.08	7
Riego	6429.85	50	6429.84	49	6429.84	47
Pecuaria	1133.35	9	1430.91	11	1728.47	13
Ecológica	3675.60	29	3675.60	28	3675.60	27
Industrial	659.88	5	716.80	5	793.01	6
Turismo	34.62	0.3	48.91	0.4	84.85	1
Total	**12,777.99**	**100**	**13,230.56**	**100**	**13,724.85**	**100**

Fuente: MAPAS-RD. Monitoreo de los Avances de País en Agua Potable y Saneamiento II.

Cuadro 7. Disponibilidad y demanda de agua en República Dominicana

Año	Disponibilidad (millones de m^3)	Demanda (millones de m^3)	Población Proyectada (habitantes)	Disponibilidad (millones de m^3/ habitantes/año)
2015	25,996.7	12,777	9,980,243	2,602
2020	25,996.7	13,231	10,448,499	2,485
2025	25,996.7	13,315	10,878,277	2,387
2030	25,996.7		11,253,284	2,308

Fuente: Elaboración con datos BM-INAPA Mapas –II- RD.

Cuadro 8. Oferta y demanda de agua y capacidad de producción

Año	Oferta potencial de agua dulce para todos los usos (m³/s)	Demanda de agua potable (m³/s)	Capacidad de producción (m³/s)
2015	745.08	26.76	62.27
2020	745.08	29.44	65.02*
2025	745.08	32.12	68.76*

Fuente: Mapas-RD. Monitoreo de los Avances del País en Agua Potable y Saneamiento II. *Proyectada.

por la Oficina Nacional de Estadísticas. Habrá que esperar los datos del censo 2020 para ver quién se aproxima más a la realidad.

En el **Cuadro 7** se presenta la demanda actual y proyectada de agua por los sectores de mayor consumo del país, según los estudios de INAPA-BANCO MUNDIAL (2016), partiendo de que la demanda total de agua para todos los usos en 2015 era de 12,778 m^3/año, que para 2020 será de 13,230.56 m^3/año y que para 2025 será de 13,725 m^3/año.

3.2.6 Estrategia nacional en ruta hacia los ODS

La misma fuente hace un análisis específico en igual período (2005-2015) de la oferta (disponibilidad), con respecto al consumo (demanda) específica para el agua potable, contrastándola con la capacidad de producción a nivel nacional, según se detalla a continuación (ver **Cuadro 8**).

Del cuadro precedente se derivan varios escenarios y se pueden hacer múltiples consideraciones, pero todo el tiempo queda claro que la oferta de agua dulce es sumamente superior a la demanda que tiene el país de este recurso natural y que la capacidad de producirlo utilizando los sistemas de aprovechamiento del recurso, en todos los escenarios, también duplican la demanda en estos momentos y que, aunque en inferior condición, se mantendrá la misma realidad para los años siguientes proyectados.

Estos datos son muy importantes para el análisis del escenario actual y las situaciones futuras que se le pueden presentar al país en materia de abastecimiento de agua potable a la población, que tiene que ser la base o punto de partida para cumplir con las proyecciones de la Estrategia Nacional de Desarrollo y el cumplimiento de las metas trazadas para los ODS y, en particular, del ODS 6 sobre acceso y disponibilidad de agua potable y al saneamiento.

4. Problemas principales de calidad del agua del país

4.1 Cobertura de servicios y participación social

4.1.1 Cobertura a nivel nacional

Según el censo nacional de 2010, en el país existían 1,272 acueductos de los cuales 420 eran de operación pública (34%) y 852 de operadores comunitarios (66%). De ese universo, 170 acueductos eran urbanos y 1,102 eran rurales, los cuales tenían una capacidad instalada de producción de 62.27 m^3 /s, pero que en realidad generaban unos 46.30 m^3/s, los cuales eran suficientes para abastecer casi el doble de la demanda real de la población, estimada en 26.26 m^3/s, según el Plan Hidrológico Nacional de 2012.

Sin embargo, el suministro de agua potable era deficitario para 2014 debido a que la pérdida promedio del agua puesta en los sistemas de abastecimiento ascendía a 54% a nivel nacional, según el estudio Monitoreo de Abastecimiento de Aguas Potables y Saneamiento del INAPA-Banco Mundial (2016), el cual se apoyó en el *Informe final diagnóstico de aguas residuales y excretas* de Leonardo Mercedes (2016).

El censo 2010 determinó que la cobertura nacional del servicio de agua potable era de 84%, repartido 67% en el ámbito urbano y 17% en el rural, por lo que 16% de la población dominicana carecía de este servicio (7.9% en el ámbito citadino y 8.1% en el rural).

4.1.2 Cumplimiento objetivo del milenio

El último informe del Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPYD) sobre el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de Naciones Unidas (ODM), dado a conocer en 2015,

indica que el país alcanzó la meta de reducir a la mitad la proporción de la población que en 1991 no tenía acceso a agua potable (33.6%), lo que implicaba elevar la cobertura de acceso de 66.4 a 83.2%, contemplado para 2015.

En tal documento, el MEPyD señala que en 2014 la población con acceso al servicio se estimó en 90.2%, y se proyectó para 2015 en 92.6%, proporción que supera en 9.4 puntos porcentuales la meta de los ODM fijada originalmente (83.2%), que luego fue elevada a 92.2% sobre la base de la revisión y actualización de la metodología de cálculo del indicador sobre acceso a fuentes mejoradas de agua potable, a la luz de los criterios establecidos por la ONU, pero que también queda superada en 0.4 punto porcentual por la proporción proyectada para 2015, indicativo de una tendencia progresiva en materia de acceso al agua potable.

4.1.3 Monitoreo de la calidad de agua

El monitoreo de la calidad del agua en la República Dominicana es responsabilidad primaria del MSP, tan como lo establece su ordenamiento jurídico, misión que cumple mediante la aplicación del Reglamento Nacional de Calidad de Agua y para la cual cuenta con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Niñez y la Infancia (UNICEF).

4.1.4 Participación social

La mayor participación social en el Sistema de Agua Potable y Saneamiento se da a nivel local, en la operación de los acueductos rurales, donde 65% de los sistemas existentes están gestionados por la Asociación Comunitaria de Acueductos Rurales (ASOCAR) y Comités de Aguas Comunitarios (CAC), a consecuencia, entre otras causas, del déficit de la atención pública y del proceso de descentralización de los acueductos rurales iniciado en 1997 por el INAPA.

La participación de los ciudadanos en los procesos de planificación, estudio, diseño, construcción y gestión de los proyectos de agua potable y saneamiento no está contemplada legalmente, ni se da de manera generalizada. Toda participación social ocurre, como se ha indicado, por iniciativas locales, a veces institucionales y, otras veces –la mayoría de ellas–, por las organizaciones comunitarias de base.

Hay representación de la sociedad civil en los consejos directivos de cinco de las siete CORAS, pero el modelo institucional y de gestión que establece el marco legal en que se sustenta el Sistema de Agua Potable y Saneamiento no instituye la participación social en ninguno de sus niveles de decisión ni en la operación de los servicios de APS, los cuales se conciben como función exclusiva del Estado a través de instituciones de carácter público.

4.2 Calidad de aguas y principales contaminantes

Los contaminantes para el agua potable son aquellos que alteran la calidad para el uso humano (beber, higiene personal, doméstico) y pueden variar de región en región, atendiendo a las características de los acueductos, tipo de gestión, condiciones geológicas y de suelos. Sin embargo, los más importantes, son: coliformes totales y fecales, pH, temperatura, nitratos, entre otros. Lo más importante, es que el Reglamento 42.05 define los parámetros y métodos analíticos, aplicables al agua para consumo humano:

A: *Parámetros Organolépticos*. B: *Parámetros Físico-Químicos.* C: *Parámetros Químicos*. D: *Parámetros relativos a sustancias no deseadas*. E: *Parámetros relativos a sustancias tóxicas*. F: *Parámetros microbiológicos*. En total, suman 69 componentes sin rendición de cuentas en forma sistemática.

4.2.1 Parámetros de monitoreo

¿Qué elementos se toman en cuenta para evaluar la calidad de agua en el país?

La calidad del agua como variable no estandarizada en el país se estima en 98%, determinado con muestreos de los parámetros básicos:

- Índice de aceptabilidad social: El Índice de Potabilización en acueductos controlados por empresas prestadoras descentralizadas es variable, con registro aceptable y aceptado por la población en 22%.
- Nivel de rechazo o desconfianza social: 78% de la población desconfía de la potabilidad del agua procedente de los acueductos y, en su lugar, consume agua embotellada (ENDESA 2013).
- Indicadores sanitarios más relevantes: color, olor, coliformes totales, coliformes fecales.
- La continuidad, la cantidad y la presión resultan discontinuas, razón que obliga a los más po-

Cuadro 9. Síntesis tratamiento aguas residuales

Parámetros	Q(m³/s)	%
Caudal aguas residuales teórico reportado	31,00	100
Caudal captado en redes alcantarillado	8,76	28
Caudal tratado en 104 PTAR* hasta año 2015	3,32	38
Caudal captado en redes sin tratamiento	5,44	62
Capacidad nominal de 104 PTAR	9,41	
Rehabilitación capacidad de tratamiento PTAR existente	6,09	65
Caudal a captar en nuevas redes y tratar en nuevas PTAR	22.24	72

Cuadro 10. Situación de las plantas de tratamiento del país

No.	Región	Cantidad	Q Nominal (lps)*
1	Región Ozama	24	740.75
2	Región Cibao Norte	29	2,784.20
3	Región Cibao Sur	11	1,243.06
4	Región Noreste	4	1,073.00
5	Región Noroeste	4	76.00
6	Región Valdesia	5	974.85
7	Región Enriquillo	7	261.39
8	Región El Valle	3	500.00
9	Región Yuma	10	406.08
10	Región Higuamo	7	1,350.00
	Total	**104**	**9,409**

*lps: litros por segundo.

bres a tener que almacenar agua en recipientes que obligan al MSP a la campaña anual de limpieza, desinfección y "tanque tapao" para evitar el desarrollo del mosquito Aedes aegypti.
- Indicador de Gestión: El servicio no es sostenible en el largo plazo.

4.2.2 Calidad del agua servida o residual

Según los datos del censo nacional de población de 2010, la información de cobertura y agua tratada en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas indica que 70% de la población dominicana usa inodoros, 24% usa letrinas o retretes y 6% todavía recurre al fecalismo.

El 70% con acceso al servicio de sanidad estaba distribuído en 27% de la población que tenía acceso a las redes de alcantarillas y 43% hacía uso de sépticos, con descargas a pozos "desfondados".

La situación de las aguas residuales a 2015, en función del agua potable producida, se registran en el **Cuadro 9.**

- Caudal agua potable: capacidad instalada: 62.27 m^3/s
- Caudal agua potable producido: 45 m^3/s
- Caudal aguas residuales nominal: 36 m^3/s
- Tratamiento de las aguas residuales: 38% del caudal captado en redes (8.76 m^3/s)

En el **Cuadro 10** se registran las PTAR por cada una las regiones que integran la República Dominicana, así como el caudal nominal, es decir, el caudal de diseño en lps. Existen 104 plantas de tratamiento de aguas residuales con un caudal nominal de 9,409 lps.

En la composición típica de las aguas residuales domésticas se identifica 15 parámetros principales, a partir de los cuales se establecen tres clases de

aguas residuales: fuerte, media y débil. Sus características se presentan en el **Cuadro 11.**

Las aguas residuales en la República Dominicana pueden asumirse de concentración media y para cada parámetro existe normativa elaborada y supervisada por el MARENA, que limita las concentraciones cuando no existen estudios de cuerpo receptor. Existen otros parámetros, como temperatura, pH, relación DQO/DBO, indicadores de tratabilidad y otros para procesos biológicos.

Índice de Biodegradabilidad (IBD). Este índice, determinado por la relación DQO/DBO, permite definir cuándo es aplicable el tratamiento biológico y cuándo se corre riesgo en el proceso, lo que se puede ver en el **Cuadro 12**.

Estas mediciones del cuerpo receptor no están evidenciadas en los diseños de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de las entidades operadoras, que se guían por los umbrales especificados en los reglamentos y por el criterio del proyectista.

4.3 Detalle de tratamiento de aguas servidas a nivel nacional

Según los datos recibidos en la Academia de Ciencias y el Plan Hidrológico Nacional, INAPA tiene a su cargo la operación de 58 plantas de tratamiento de aguas residuales en todo el país, 16 de las cuales actualmente están fuera de servicio, mientras la CAASD opera otras 23 en la ciudad de Santo Domingo, CORAASAN opera 8 en Santiago de los Caballeros, CORAAMOCA una en la ciudad de Moca y CORAAROM otra en la Romana.

Estas 91 plantas de tratamiento de aguas residuales a nivel nacional han sido reforzadas por varios proyectos de saneamiento realizados en Santo

Cuadro 11. Clasificación de las aguas residuales domésticas

Contaminantes	Concentración (mg/l)*		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales (ST)	1200	700	350
Sólidos disueltos totales (SDT)	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Sólidos en suspensión (SS)	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables	20	10	5
(DBO_5, 20°C)	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)	290	160	80
DQO	1,000	500	250
Nitrógeno orgánico	35	15	8
Fósforo (total en la forma P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Sulfato	50	30	20
Alcalinidad (como $CaCO_3$)	200	100	50
Grasa	150	100	50
Coliformes totales (en n.0/100 ml)	107 - 109	107 – 108	106 – 107
Compuestos orgánicos volátiles (COVs), en µg/l	>400	100-400	<100

*mg/l: miligramos por litro. Fuente: Metcalf y Eddy (1996).

Cuadro 12. Índice de biodegradabilidad, nutrientes, nitrógeno y potasio

Parámetro	Relación	Resultado
DQO / DBO	Igual a 1.5	Muy biodegradable
DQO / DBO	Igual a 2	Moderadamente biodegradable
DQO / DBO	Igual a 10	Poco biodegradable
DBO / DQO	Menor de 0.2	No biodegradable
DBO / DQO	Mayor de 0.6	Biodegradable
Nitrógeno total	1 a 15	Población hasta 100,000 / población más de 100,000
Fósforo	1 a 2	Población hasta 100,000 / población más de 100,000

Fuente: OPS/OMS. Biblioteca Virtual en Salud. www.bsvdepho.org/bvsaidis/chile

Cuadro 13. Índice de biodegradabilidad de las aguas residuales en PTAR* del INAPA

N°	PTAR INAPA	DQO/DBO
1	Bayahíbe	2.6
2	Pimentel	2.9
3	San Juan	4.3
4	Las Terrenas	1.3
5	San Francisco de Macorís	2.6

Fuente: Elaborado con datos del INAPA. * Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Nota: Las PTAR de las Terrenas y San Francisco de Macorís cumplen con los parámetros físico-químicos indicados en el reglamento de descarga. Las demás no lo hacen.

Domingo y el interior del país, como son: Cañada Guaijimía, Parque Ecológico La Castellana y varias cañadas saneadas por el proyecto SABAMAR de colaboración europea y el Banco Mundial; otros proyectos se han realizado en San Pedro de Macorís, Las Terrenas-Samaná, San Francisco de Macorís, así como las plantas de Guaymate y la Avenida Cayetano Germosén, estas dos últimas con operación mixta entre el INAPA y la CAASD.

En todos los centros turísticos del país operan sistemas de tratamientos individualizados y colectivos, pero no existe una clara definición de eficiencia y coberturas debidamente documentada. En las zonas rurales lo común es la disposición individual de excretas mediante el uso de letrinas. Según el estudio: "Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura" de la FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID (2015), 59.8% de las viviendas rurales utilizan letrinas, 33.1% sanitarios y 7.1% de los hogares no dispone de ningún sistema para la eliminación de excretas.

Este mismo estudio revela que el Distrito Nacional y la Provincia Santo Domingo generan un total de 1,169,152.02 m^3 por día de aguas residuales que representan 80% del total; de esa cantidad, 113,040.78 m^3/d se recolectan, mientras que la capacidad instalada de la CAASD para el tratamiento es de 64,960 m^3/d, pero debido al deterioro de las plantas, sólo 21,960 m^3/d reciben realmente tratamiento.

4.3.1 Caso Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA)

El INAPA presenta reportes de control de calidad en 5 de 19 PTAR en operación que corresponden a los efluentes de las plantas Canoa-Bayahíbe, Pimentel, San Juan de la Maguana, Samaná, Las Terrenas y San Francisco de Macorís; todas, de tratamiento biológico.

El primer criterio es determinar el índice de biodegradabilidad de las aguas para cada PTAR y está comprendido entre 1.3 y 4.3, esto es, de muy biodegradable a moderadamente biodegradable (**Cuadro 13**).

4.3.2 Caso Corporación de Acueductos y Alcantarillados de Santo Domingo (CAASD)

La CAASD reporta análisis parciales y limitados de calidad de efluentes de tres de las diez plantas que dice tener en operación (Los Jardines, La Ciénega y

Los Tres Brazos) y sólo en dos de diez parámetros: DBO y DQO.

Al establecerse el indicador DQO/DBO, éstos resultaron estar comprendido entre 2.45 y 2.99, que las clasifica como aguas de poca biodegradación por procesos biológicos. Ninguno de los efluentes cumple con tener un DQO menor de 150 ppm. En cuanto a lo que la DBO se refiere, sólo la planta de Los Tres Brazos cumple con este parámetro.

Los datos reflejan que no hubo estudio de trazabilidad y, si existe, la gestión de vigilancia es muy pobre, afectando la calidad del proceso. Es importante hacer notar que el cuerpo receptor de estos efluentes es el río Ozama.

Para que las PTAR operen bien se necesita detectar las descargas que reducen la biodegradabilidad, lo que sugiere a la CAASD la instalación de sistemas de tratamiento individuales para su descarga en las alcantarillas.

4.3.2.1 Planta de Tratamiento de la Zurza

Es la principal de las siete plantas de tratamiento contempladas en el Plan Maestro del Alcantarillado Sanitario del Gran Santo Domingo, con 97% de avance en su construcción y a la espera de entrada en funcionamiento (octubre de 2018).

En su primera etapa se propone tratar 1.2 m^3/seg de aguas residuales; será de tipo convencional de filtros percoladores (filtros biológicos), con una línea de tratamiento de lodos mediante digestión anaerobia. La planta depurará las aguas residuales e industriales de los sectores de la margen norte del Distrito Nacional y del municipio Santo Domingo Norte, la cual constituye una de las obras más importantes, que contribuirá a la recuperación de los ríos Ozama e Isabela (**Figura 2**).

Figura 2. Planta de Tratamiento La Zurza (maqueta)

El proyecto se ejecuta a través de un financiamiento con el Deutsche Bank, y en la primera fase se busca ejecutar tres etapas de inversiones con período de ampliación cada 10 años, según el cronograma del Plan Maestro, que cuenta con licencia ambiental para su construcción y operación. La obra beneficiará los sectores de Cristo Rey, Villas Agrícolas, Villa Juana, Villa Consuelo, Ensanche La Fe, La Agustina, Miraflores, San Juan Bosco, 24 de Abril, Simón Bolívar, Capotillo, Los Jardines del Norte, Isabel Villas, Cuesta Hermosa I y II, Cerros de Arroyo Hondo, Arroyo Hondo Viejo, Altos de Arroyo Hondo I y II, Barrio La Zurza y La Cañita, así como los ensanches y Espaillat, Luperón, en Santo Domingo Norte beneficiará a Villa Mella, Los Guaricanos y Sabana Perdida.

4.3.3 Caso Corporación de Acueductos y Alcantarillados de Santiago (CORAASAN)

En el caso CORAASAN se analizan siete PTAR con reportes de análisis de laboratorio. Tres PTAR de Aireación Extendida (variante de lodos activados), una de Lodos Activados, dos Sépticos y un Tanque IMHOFF[1] con caudal total Q=1,627 lps.

El indicador de biodegradabilidad (DQO/DBO) para los procesos de lodos activados resulta entre 2.24 y 2.26. En el caso del IMHOFF el índice resultó de 2.43. En el Séptico quedó comprendido entre 2.2 y 2.31 y en la Laguna Aireada el índice fue de 7.76. Los tres primeros califican como moderadamente biodegradables y la última como poco.

Las descargas correspondientes a los efluentes de sistemas de aireación extendida cumplen con los parámetros de sólidos, DBO y DQO, a excepción de la planta No.7 que no cumple en lo referente a la DQO. Las plantas de Lodos Activados cumplen sólo en DQO. El efluente del IMHOFF cumple con todos los parámetros, no así los efluentes de sépticos que cumplen sólo en los sólidos suspendidos.

En realidad, no existe suficiente información sistematizada para evaluar la calidad de los efluentes de las PTAR. Las muestras reportadas indican

1. Sistema de tratamiento de aguas residuales que toma su nombre del profesor alemán y doctor en ingeniería Karl Imhoff.

Cuadro 14. Agua de Retorno en República Dominicana

Región	Volumen de Riego millones de m 3 (Mm3)	Caudal
Yaque del Sur	527.5	16.73
Yaque del Norte	492.9	15.63
Atlántica	30.6	0.97
Yuna	92.3	2.93
Ozama-Nizao	70.1	2.22
Este	36.4	1.15
TOTAL	**1,249.8**	**39.63**

*1 Mm3 = 0,03171 m3/s. Fuente: Elaboración con datos del PHIN, INDRHI 2012.

Cuadro 15. Contaminación expresada en términos de población equivalente

Nombre	Peso (Kg.)	Equivalente
Vaca confinada	500	12-15 hab. Equivalente
Cerdo confinado	60	2-5 hab. Equivalente
Gallina	1-2	0.1-0.2 hab. Equivalente

Fuente: Elaboración con datos del PHIN, INDRHI 2012.

efluentes que no cumplen las regulaciones y existe una gestión deficiente, reconociendo que CORAASAN presenta indicios prometedores de buena gestión de las aguas residuales en la identificación de las descargas que podrían afectarles el proceso de tratamiento.

No hay evidencias del uso de modelos de laboratorio para el diseño de Sistemas Biológicos de Tratamiento y ausencia de parámetros nacionales que caractericen provincial y regionalmente la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

4.4 Aguas de retorno cantidad y calidad

Se estima que las aguas de retorno representan un caudal de 40 m^3/s y transportan parte de los insecticidas y químicos empleados en las prácticas agrícolas. Este flujo afecta la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. En realidad, las aguas de retorno representan una de las principales fuentes de contaminación difusa a ser evaluada.

En las estadísticas del agua se registra el volumen de Agua de Retorno por cuenca hidrográfica, valores que se transcriben a continuación, con rango de 26 a 46% de eficiencia (**Cuadro 14**).

El agua de retorno en conjunto con los arrastres de eyecciones por escurrimientos pluviales del sector pecuario resulta de gran importancia al considerarse la población equivalente (**Cuadro 15**).

4.5 Calidad del agua de los principales ríos dominicanos

Los principales procesos de contaminación de las aguas de ríos proceden de la erosión, de las aguas de retorno (agricultura) y de los efluentes domésticos, variando la calidad en función de los diferentes usos del río y estación del año.

4.5.1 Río San Juan

El río San Juan es el eje estratégico para la producción agropecuaria, asociado a los usos de la tierra en ocho microcuencas que modifican la calidad del agua en su trayectoria de 202 km, demandando de controles, mediante instrumentos para los diferentes tipos de uso según tramo entre los que figuran:

a. Los físicos y tecnológicos, como: modernización de estaciones, reubicación, nuevas estaciones, definición de parámetros a medir.
b. Definición de indicadores. Entre los primeros, se recomienda reubicar dos de las estaciones existentes, 17 estaciones hidrométricas nuevas y activar 30 estaciones de calidad de agua, con instrumentos de nueva tecnología.

4.5.2 Calidad del río Yaque del Norte

El río Yaque del Norte, en su paso por la Ciudad de Santiago, presenta características físico-químicas y bacteriológicas con clasificación de Agua clase B –para aguas superficiales– como se muestra a continuación:

a. El porcentaje de oxígeno de saturación es mayor a 70% en 10 estaciones de muestreo con rango comprendido entre 76.5 y 94%.
b. La Demanda Bioquímica de Oxígeno con límite máximo permisible de 5 ppm, cuyo valor es excedido en 8 de 10 estaciones de monitoreo en rango de 7.3 ppm a 20 ppm.
c. Coliformes Fecales (CF). En este parámetro la normativa establece como límite 1000 NMP /200 ml y el rango de los valores medidos en 10 estaciones de monitoreo en la trama urbana de Santiago varía desde 2.500 a 86,000 NMP/100ml en los reportes de CORAASAN del periodo 2013-2017. En el caso de los Coliformes Totales (CT), el rango es superior a los CF desde 2,600 a 94,000 NMP/100 ml.

4.5.3 Calidad de los ríos Ozama e Isabela

La calidad de los ríos Isabela y Ozama se ve afectada por la erosión y el arrastre de materia orgánica, lo que a su vez permite el desarrollo del lirio acuático causando impactos recurrentes cada año, limitando su aprovechamiento y riesgo para los asentamientos humanos y el turismo. El río Isabela es un afluente del río Ozama y a 15 km de su confluencia es zona de desarrollo de las lilas que son arrastradas anualmente en la época de lluvias. Este tramo es una de las zonas más contaminadas del país.

Entre los factores claves de la contaminación en los ríos Ozama e Isabela figuran:

a. La Erosión en la cuenca alta, socavación general y lateral en el cauce, sedimentación/deposición en cuenca media y baja.
b. Aparición, desarrollo y desaparición de las lilas (*Eichhornia crassipes*) a consecuencia de la materia orgánica sedimentada en cuenca media y baja rica en NPK, generando más daños que bien, propiciando el desarrollo del mosquito *Aedes aegypti*, transmisor del dengue, y sus raíces pueden ser hábitat para la bacteria del cólera.
c. Inundaciones por cambios en las precipitaciones, ocasionándose un mayor caudal del río y variaciones en la sección hidráulica: nivel de aguas mínimas (NAMI), nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO) y máximas extraordinarias (NAME) afectando, así, asentamientos humanos existentes.
d. Contaminación física, química y biológica: residuos sólidos, descargas industriales, domésticas, agrícolas y pecuarias.

4.5.3.1 Procesos de sedimentación y eutrofización

La cuenca del Ozama es una de las más pobladas y de las más contaminadas del país. No existe un estudio de manejo integral de esta cuenca que considere la hidráulica fluvial, que permita definir las obras hidráulicas y de encauzamiento. Actualmente, la solución a los procesos acelerados de sedimentación, eutrofización y contaminación que se dan en la desembocadura se resuelven por dragado, cuyos lodos se disponen en el mar.

4.6 Calidad del agua y disposición final de residuos sólidos

La superficie de vertederos a cielo abierto (350 basureros) de la República Dominicana es aproximadamente de 6 km2, los cuales bajo la acción de una precipitación promedio de 1.500 mm/a generan un estimado de 90 lps de lixiviado (método suizo).

4.6.1 Problemas que impactan la calidad de agua

Los sistemas de abastecimiento de aguas potables y saneamiento, y cuerpos de agua deben ser objeto de auditorías técnicas sanitarias y vigilancia continua. Con participación de la sociedad, deben realizarse como parte de la gestión, algo totalmente ausente en el territorio nacional.

Entre los problemas principales que impactan la calidad de las aguas en el país figuran:

- Un modelo económico de alto consumo de carbono y ausencia de una visión de la importancia del recurso agua como eje en el desarrollo nacional.
- Procesos erosivos en las principales cadenas montañosas del país.
- Bajo control sanitario de las cuencas hidrográficas, que son fuentes para el abastecimiento de aguas potables de casi 1.300 acueductos entre pequeños y grandes.
- Diseños inapropiados sin tomar las previsiones ante efectos hidrometeorológicos.

- Poca infraestructura en redes de alcantarillado sanitario que inducen al uso de sistemas de tratamientos aislados y que ocasionan una vasta contaminación difusa en suelos y aguas subterráneas.
- Sólo 20% de las aguas captadas en redes de alcantarillas es sometido a un proceso de tratamiento.
- Existencia de más de 350 vertederos a cielo abierto en todo el país, que ocupan una superficie aproximada de 6 km2, los cuales, al entrar en contacto con las precipitaciones, producen cerca de 90 lps de lixiviado.
- Gestión del recurso agua sin visión integral.
- La gestión de los servicios de aguas potables mediante acueductos es de baja cobertura, discontinua y de baja presión, creando gran desconfianza en la población en cuanto a la calidad del agua para la ingesta humana.
- Baja proporción de alcantarillados y tratamiento de las aguas servidas.
- Ausencia de entes de ordenamiento y regulación del recurso y del servicio, respectivamente.
- Bajos niveles de inversión.
- Los recursos humanos deben ser evaluados y reasignados en función de la formación académica.

4.6.2 Conflicto social minería-medio ambiente

La República Dominicana cuenta con un gran potencial minero al poseer cuantiosos yacimientos de oro (segundo depósito más grande en América), plata, níquel, bauxita, mármol, cobre, piedra caliza y granito.

Todavía este sector se rige por la obsoleta Ley Minera N° 146 de 1971, la cual consagra en su Artículo 28 que "es de interés primordial del Estado dominicano la exploración del territorio nacional, con el fin de descubrir yacimientos de substancias minerales para su ulterior explotación y aprovechamiento económico".

Y con base en ese inciso, el país ha visto arruinarse grandes espacios territoriales y contaminarse innumerables ríos y acuíferos por parte de la Aluminium Company of America (bauxita), Rosario Maining Company (oro y plata), Falconbridge Dominicana (ferroníquel), Corporación Minera Dominicana (cobre y oro) y CORDE (sal y yeso), entre otras empresas que durante más de 70 años se han desenvuelto en medio de conflictos sociales por la secuela de daños al ambiente y, en particular, a la calidad de las aguas utilizadas en sus procesos.

Se necesita definir un adecuado ordenamiento del territorio nacional y regulación de los usos de los suelos para el aprovechamiento racional de los recursos mineros con reglas claras y bienestar para el país.

4.6.3 Relación entre conflictos mineros ambientales y sociales del nuevo milenio

a. Entre los años 1998 y 2007 la mina de oro de Pueblo Viejo, gestionada precariamente por las compañías Rosario Dominicana y Placer Dome, después de un breve receso operativo, provocó la contaminación en grados extremos del río Margajita, con aguas de coloración totalmente rojas y color vino y un pH extremadamente ácido, con valores entre 1 y 3, donde ninguna forma de vida acuática podía sobrevivir. Para controlar la situación se mantenía un programa de aplicación de cal permanente para tratar de neutralizar en lo posible el pH.
b. Hubo un derrame de petróleo por ruptura del oleoducto (72 km de longitud) de Falconbridge Dominicana sobre el Arroyo Carvajal, afluente directo del río Haina y en zona de alta pluviometría a su paso por Villa Altagracia (2002). El costo de los daños se calculó en 6.8 millones de dólares. La sindicatura local exigió mediante demanda judicial unos 4.3 millones de dólares de indemnización. Los daños a la biodiversidad acuática y las márgenes ribereñas fueron analizados por la Comisión de Ciencias de la Academia de Ciencias de la República Dominicana y la Comisión Ambiental de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD).
c. Temor y quejas tras derrame de petróleo en la comunidad Quinto Centenario de Piedra Blanca, a escasos metros del río Maimón, fuente de alimentación del río Yuna (segunda cuenca mayor del país) y la Presa de Hatillo (2008). Este caso también fue documentado por la Academia de Ciencias y la UASD.
d. El MSP informa que se intoxicaron 346 obreros y parte del personal de la empresa Barrick Gold por consumir alimentos y aguas contaminadas, aunque reportes extraoficiales indican que al-

rededor de 600 personas recibieron asistencia médica y fueron recluidas en clínicas y hospitales de Maimón, Cotuí, Bonao, La Vega y San Francisco de Macorís (15 de marzo de 2010); la empresa entró en operación hasta 2011.

e. Durante el período 2011-2012 estalla el conflicto por la explotación del yacimiento de níquel que pretendía realizar la empresa Xstrata Níkel en Loma Miranda, cabecera de 40 manantiales y ríos estudiados por la Academia de Ciencias de la República Dominicana y la UASD, con la colaboración de la Cooperativa Vega Real y el apoyo social de las iglesias católica y evangélica, ayuntamientos y autoridades edilicias de las provincias Monseñor Nouel y La Vega, así como los legisladores y las comunidades de base. Para evitar riesgos futuros se preparó la propuesta de la creación de un Parque Nacional para proteger 98 familias botánicas existentes, de las 200 que tiene la isla La Española. El Parque Nacional fue creado por unanimidad en el Congreso Nacional y aplazado luego por el Presidente de la República hasta la promulgación de una Ley de Ordenamiento del Territorio Nacional. Este conflicto se internacionalizó cuando el Gobierno dominicano solicitó el concurso del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), para evaluar los atributos biológicos y la riqueza hídrica de Loma Miranda, quien confirmó los estudios realizados por la Academia de Ciencias y la UASD.

f. Según estudio del MSP, en la periferia de la mina de oro de Pueblo Viejo donde opera la Barrick Gold, hay unas 150 personas afectadas con cianuro y metales pesados a causa de la contaminación que sufren los ríos de la zona, entre ellos Mejiíta, Maguaca, Margajita, Colorado y otros (25 de septiembre 2013).

g. Falcondo (Falconbridge Dominicana) va a juicio de fondo en el Juzgado de la Instrucción de San Cristóbal por contaminar el río Haina según las múltiples querellas comunitarias de Quita Sueño, sometidas ante la Procuraduría General de la República durante el período 2013-2015.

h. El Ministerio de Energía y Minas da seguimiento especial a la presa de colas El Llagal de la compañía Barrick Gold, construida en el mismo cauce y cabecera del río Maguaca, zona de bosque pluvial, por la amenaza de las fuertes lluvias del Huracán *Matthews* (26 de octubre de 2016).

i. El Gobierno dominicano anuncia que sacará la Presa de cola Mejiíta del centro de operaciones de la mina de oro de Pueblo Viejo Dominicana, administrada por las compañías Barrick Gold (60%) y Goldcorp (40%), con miras a eliminar el peligro ambiental que la misma representa para la provincia Juan Sánchez Ramírez (8 de marzo de 2016).

j. El MARENA multa con 164,859 dólares a Falconbridge Dominicana mediante la resolución 0273/2017, por el último derrame de petróleo a orillas del río Haina a su paso por la comunidad de Quita Sueño y a poca distancia del principal puerto comercial del país (Bajos de Haina), el pasado 26 de septiembre de 2017.

k. La Academia de Ciencias de la República Dominicana, en ocasión del Día Mundial de los Humedales, alerta del peligro que encierra el triángulo minero Barrick Pueblo Viejo (Río Margajita), Minera Maimón (Río Sin) y Falconbridge Dominicana (Río Yuna), para la salud de la presa de Hatillo, área núcleo del Parque Nacional Aniana Vargas (2 de febrero de 2017).

4.7 Impactos económicos de la calidad de agua

Por cada dólar que se invierte en agua y saneamiento, su impacto en el PIB es de $4 US. En la medida que se deteriore la calidad de las aguas en las zonas de captación, se encarece la inversión en los sistemas de tratamiento y se aumenta la distancia de la aducción.

5. Infraestructura y educación para manejo de la calidad de agua

La infraestructura hidráulica sanitaria en los sistemas de acueductos debe ampliarse 16% para que la población que no tiene ese servicio cuente con acometidas intradomiciliarias. La infraestructura en redes de alcantarillados debe ser ampliada para que 70% de la población disponga de alcantarillados para 2030, es decir, 7 millones de habitantes.

Las inversiones en obras físicas son importantes y necesitan complementarse con educación con-

tinuada de los gestores, en comprender y aceptar la separación de roles en el desempeño de sus funciones, de formación en nuevos criterios de diseño, operación y mantenimiento, para mantener el agua no contabilizada en límites razonables y sin conexiones cruzadas. Adicionalmente, se requiere una vigorosa orientación sanitaria a la población en el uso del agua y en la educación ciudadana del pago por los servicios de agua potable y saneamiento.

Lo descrito junto con otros elementos constituyen los cimientos para la construcción de capacidades para transitar hacia el desarrollo sostenible.

5.1 Potabilización

El agua como materia prima tiene que someterse a potabilización para su transformación en agua apta para el consumo humano. Es un proceso industrial sujeto a una buena operación y mantenimiento y, por lo tanto, requiere un buen control de calidad, con personal especializado. En la Republica Dominicana se emplean las *plantas de filtración lenta* para pequeños caudales y agua cruda relativamente buena, *plantas potabilizadoras de filtración rápida* con alto riesgo de contaminación, como por ejemplo las aguas superficiales, y *plantas de desinfección* para aguas de calidad excelente.

5.2 Impacto de la calidad de agua en la salud

El agua de calidad en el contexto del consumo humano y del saneamiento genera beneficios en proporción de 1 a 9. Es decir, por cada dólar invertido puede generar beneficios a la economía de hasta 9 dólares, empezando con la salud de la población.

El agua de buena calidad y el saneamiento en general constituyen la principal barrera contra las enfermedades, pues con la higiene personal se evita la transmisión de enfermedades. El Anexo V del Reglamento 42-01 de la Ley de Salud 42-01 define 59 parámetros de importancia sanitaria por los posibles efectos sobre la salud, entre los relacionados con los parámetros microbiológicos y sus enfermedades que pueden ser transmitas por el agua. Se estima que 60% de las enfermedades en la República Dominicana, según reporte del MSP, está relacionado con el agua.

5.2.1 Reaparición del cólera

La isla La Española estuvo libre de cólera por más de cien años, hasta que se introdujo en Haití en octubre del 2010 y se propagó rápidamente en la vecina República Dominicana tres semanas después. La dramática experiencia del cólera en la Isla La Española ha puesto a prueba la capacidad de respuesta del sector salud de ambos países.

En República Dominicana, el Viceministerio de Salud Ambiental (ex-DIGESA) apoyado por la UNICEF en coordinación con la OPS, elaboró y coordinó la implementación de un Plan de Acción ante la Alerta Epidemiológica de Cólera, que define las líneas prioritarias, así como las acciones preparativas y de respuesta del sector agua, saneamiento e higiene, que permitieron contener la epidemia en sus primeros dos años.

5.3 Experiencias educativas

Cada vez que la ciudadanía adquiere mayor conciencia de la importancia del agua, por su multiplicidad de usos, ello se refleja en un empoderamiento de la sociedad, situación apreciable a medida en que pasa el tiempo y en todos los niveles o estratos sociales. La importancia del agua como recurso y su multiplicidad de usos debe incorporarse en los planes y programas de estudios de manera transversal, tanto en los centros escolares del nivel básico, como en los centros de educación superior, en todo el territorio nacional.

Entre los múltiples ensayos que se realizan en todo el país por diferentes sectores que se han concienciado de la relación calidad de agua-salud, hay dos que merecen una mención especial y que se detallan en el **Recuadro 1.**

6. Cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)

6.1 Monitoreo de los objetivos

Los principales ODS relacionados con el agua, están resumidos en el ODS-6, Agua y Saneamiento para todos, con participación y cooperación. Al respecto, la ONU ha lanzado la iniciativa para el monitoreo de los avances en el cumplimiento de la gran meta para 2030.

Cuadro 16. Plantas de filtración lenta

No.	Ubicación		Caudal diseño (lps)
	Acueducto	Provincia	
1	La Gorra	Dajabón	10.7
2	Restauración	Dajabón	12.5
3	Vaca Gorda	Dajabón	5.0
4	Arroyo Blanco - El Guanal	Santiago Rodríguez	8.8
5	Villa los Almácigos El Pino	Santiago Rodríguez	15.0
6	Santiago Rodríguez	Santiago Rodríguez	80
7	Vaca Gorda	Dajabón	5
8	Entrada de Mao	Valverde	11.0
9	Peralta	Azua	16.0
10	Magueyal	Azua	22.0
11	Tábara-Abajo	Azua	5.8
12	Villarpando- La Bastida	Azua	22.0
13	La Siembra	Azua	8.8
14	Guayabal	Azua	15.0
15	Juan Santiago	Elías Piña	30.0
16	Sabana Larga - Potroso	Elías Piña	9.0
17	Hondo Valle	Elías Piña	30.0
18	Loma Babor Babor	Elías Piña	8.8
19	Cercado	San Juan	40.0
20	Sabana Alta	San Juan	15.4
21	Guanito	San Juan	8.8
22	La Zanja	San Juan	16.0
23	El Cacheo	San Juan	9.0
24	Jínova	San Juan	30
25	La Maguana	San Juan	30.0
26	El Llano	Elías Piña	26.0
26	El Factor	María Trinidad Sánchez	45
27	San Isidro - Copeyito	María Trinidad Sánchez	30
28	Punta Balandra	Samaná	4.8
29	Majagual	Samaná	8.8
30	Villa Clara - Carenero	Samaná	16.0
31	Guanuma	Distrito Nacional	30.0
32	Centro Boya	Monte Plata	4.0
33	El Cacique	Monte Plata	8.8
34	Sabana De Payabo	Monte Plata	15.0
35	La Gina – Serralle	Monte Plata	10.0
36	Honduras – Matadero	Peravia	5.0
37	Sabana Piedra	Peravia	3.0
38	Yaguarizo	Peravia	14.0
39	La Montería – Las Caobas	Peravia	5.6
40	Paya	Peravia	10.8

41	Medina	San Cristóbal	5.0
42	La Cuaba	San Cristóbal	20.0
43	Los Cacaos	San Cristóbal	10.0
44	Cambita	San Cristóbal	15.0
45	Cambita	San Cristóbal	3.2
46	Medina- La Cuchilla	San Cristóbal	8.8
47	Monte Negro	San José de Ocoa	10.3
48	Monte Negro	San José de Ocoa	4.0
49	Rancho Arriba	San José de Ocoa	10.0
50	Juan Luis	San José de Ocoa	3.2
51	El Pinar	San José de Ocoa	3.0
52	La Peñita	San José de Ocoa	14.6
53	Sonador	Monseñor Nouel	35.0
54	Rincón De Yuboa	Monseñor Nouel	8.8
55	Arroyo Toro	Monseñor Nouel	2.9
56	El Blanco	Monseñor Nouel	8.8
57	Fula – Sabana Del Puerto	Monseñor Nouel	10.0
58	Fula – Los Paleros, Los Quemados	Monseñor Nouel	25.0
59	Juan Adrián	Monseñor Nouel	6.4
60	Los Quemados	Monseñor Nouel	13.0
61	Los Arroces	Monseñor Nouel	16.0
62	Paleros	Monseñor Nouel	35.0
63	Antón Zapemalo	Santiago	60.0
64	Baitoa-La Lima	Santiago	30.0
65	Las Placetas- Esperanza	Santiago	3.5
66	Pedro García	Santiago	9.0
67	Jánico	Santiago	40.0
68	Rincón De Piedra	Santiago	2.5
69	El Cuey	El Seibo	9.0
70	La Cuchilla	El Seibo	12.0
71	La Gina	El Seibo	37.0
72	Pedro Sánchez	El Seibo	16.0
73	Vicentillo	El Seibo	30.0
74	Arroyo Grande	El Seibo	9.0
75	El Cedro	El Seibo	12.5
76	Los Kilómetros	El Seibo	5.0
77	El Valle	Hato Mayor	65.0
78	Hato De Mana	La Altagracia	5.6
79	Otra Banda-Macao	La Altagracia	36.0
80	Sabana De Nisibón	La Altagracia	4.4
81	Los Hatillos	San Pedro de Macorís	80.0
82	El Puerto- Los Llanos	San Pedro de Macorís	8.8
83	Magua	Hato Mayor	8.0

84	Los Hidalgos-Navas	Puerto Plata	4.4
85	Lajas De Yaroa	Puerto Plata	5.5
86	Sabaneta De Yasica	Puerto Plata	5.5
87	Puente Camu	Puerto Plata	4.5
88	Navas- Los Hidalgos	Puerto Plata	30.0
89	El Tamarindo	Bahoruco	12.5
90	Galván	Bahoruco	30.0
91	La Filipina	Barahona	8.0
92	Las Salinas	Barahona	30.0
93	Salinas	Barahona	13.0
94	La Descubierta	Independencia	28.0
95	Pinos del Edén	Independencia	3.2
96	Puerto Escondido	Independencia	4.0
		Total	**1,631.2**

Cuadro 17. Plantas de filtración rápida (En su mayoría requieren de buen mantenimiento y de remodelación)

No.	Ubicación		Caudal diseño (lps)
	Acueducto	Provincia	
1	Corral Grande	Dajabón	15
2	Dajabón	Dajabón	100
3	Loma de Cabrera	Dajabón	70
4	Partido – La Gorra	Dajabón	70
5	Guayubín	Monte Cristi	100
6	Guayubín	Monte Cristi	200
7	Monte Cristi	Monte Cristi	100
8	Pepillo Salcedo	Monte Cristi	40
9	Monción	Santiago Rodríguez	70
10	La Meseta La Caoba	Santiago Rodríguez	15
11	Santiago Rodríguez	Santiago Rodríguez	120
12	Ac. Línea Noroeste (ALINO)	Valverde	3,000
13	Jaibón	Valverde	100
14	Jicomé	Valverde	70
15	Río Mao	Valverde	450
16	Múltiple Mao	Valverde	500
17	Municipal de Mao	Valverde	125
18	Esperanza (Nueva)	Valverde	100
19	Esperanza (Vieja)	Valverde	125
20	Guatapanal	Valverde	35
21	Azua	Azua	70
22	Canoa – Los Bancos	Azua	40
23	Estebanía – Las Charcas	Azua	70
24	Padre Las Casas	Azua	80
25	Sabana Yegua	Azua	100

26	Elías Piña	Elías Piña	70
27	Pedro Santana – Bánica	Elías Piña	30
28	Carrera de Yegua	San Juan	30
29	Las Charcas de María Nova	San Juan	30
30	Las Matas de Farfán	San Juan	130
31	Punta Caña- Arroyo Loro	San Juan	30
32	San Juan de La Maguana	San Juan	450
33	San Juan de La Maguana	San Juan	500
34	Jorgillo el cercado	San Juan	70
35	Castillo-Hostos	Duarte	35
36	Villa Rivas	Duarte	125
37	San Francisco de Macorís (Cenovi)	Duarte	250
38	San Francisco de Macorís	Duarte	1000
39	Nagua (nueva)	María Trinidad Sánchez	300
40	Río San Juan	María Trinidad Sánchez	200
41	Guayabito, nagua	María Trinidad Sánchez	70
42	Samaná	Samaná	600
43	Nagua (vieja)	María Trinidad Sánchez	200
44	El Pozo-Los Limones	María Trinidad Sánchez	100
45	Salcedo	Hermanas Mirabal	500
46	Juana Vicenta	Samaná	40
47	Las Terrenas	Samaná	260
48	La Lometa Rincón Molinillo	Samaná	160
49	Sánchez	Samaná	70
50	Los Cacaos	Samaná	25
51	Fantino	Sánchez Ramírez	100
52	Cevicos	Sánchez Ramírez	50
53	Cevicos	Sánchez Ramírez	25
54	Las Cuevas, Cevicos	Sánchez Ramírez	30
55	Guanábano Cruce de Maguaca	Sánchez Ramírez	15
56	Guanuma	Monte Plata	70
57	Sierra Prieta	Distrito Nacional	35
58	Yamasá	Monte Plata	50
59	Monte Plata	Monte Plata	75
60	Yamasá	Monte Plata	130
61	Monte Plata	Monte Plata	130
62	Sabana Grande de Boyá	Monte Plata	100
63	Sabana Grande de Boyá	Monte Plata	50
63	Bayaguana	Monte Plata	200
64	Peralvillo	Monte Plata	70
65	Baní (Nueva)	Peravia	1000
66	Sabana Larga	Peravia	30
67	Cañafístol	Peravia	30
68	Baní (vieja)	Peravia	160
69	San Cristóbal	San Cristóbal	1000

70	Villa Altagracia	San Cristóbal	200
71	Los Mogotes	San Cristóbal	15
72	La Colonia	San Cristóbal	10
73	Ramon San Francisco	San Cristóbal	15
74	El Puerto	San Cristóbal	20
75	Piedra Blanca	Monseñor Nouel	50
76	Maimón	Monseñor Nouel	125
77	Bonao	Monseñor Nouel	650
78	Bonao	Monseñor Nouel	250
79	Sabana El Puerto	Monseñor Nouel	35
80	Los Arroces el verde	Monseñor Nouel	40
81	Navarrete	Santiago	80
82	Sabana Iglesia	Santiago	100
83	La Canela	Santiago	105
84	Hato del Yaque	Santiago	80
85	Villa Bao	Santiago	80
86	La Canela	Santiago	22
87	San José de Las Matas	Santiago	50
88	Baitoa la Lima	Santiago	250
89	Villa Trina, José Contreras	Espaillat	40
90	Los Quemados-Los Pedregones	Monseñor Nouel	20
91	El Seibo	El Seibo	200
92	Miches	El Seibo	100
93	Hato Mayor (Yerba Buena)	Hato Mayor	100
94	Sabana de La Mar	Hato Mayor	100
95	Sabana de La Mar	Hato Mayor	150
96	Laguna de Nisibón	La Altagracia	70
97	Higüey	La Altagracia	500
98	Higüey	La Altagracia	150
99	San Pedro de Macorís	San Pedro de Macorís	500
100	Imbert	Puerto Plata	70
101	Neiba	Bahoruco	100
102	Los Ríos-Las Clavellinas	Bahoruco	40
103	Jimaní	Independencia	25
104	Duvergé	Independencia	100
105	Enriquillo	Independencia	70
106	Oviedo	Pedernales	40
107	Quita Coraza - Fondo Negro	Barahona	30
108	Pedernales	Pedernales	75
109	Asuro	Bahoruco, Barahona e Independencia	75
		Total	**21,047.00**

Recuadro 1. Programas educativos

Hacia Una Nueva Cultura Del Agua

La República Dominicana tiene como meta hacer un uso racional del recurso hídrico y con tal propósito promueve el programa "Cultura del Agua", bajo la responsabilidad del INDRHI.[1] El propósito esencial de este programa reside en promover y crear sensibilización en las comunidades, centros académicos y sociedad civil, hacia un cambio de conducta enfocada a la protección de la calidad del agua y su uso racional.

Un buen ejemplo de ello se puede apreciar en la implementación de aquél en la microcuenca del Río Los Baos, provincia San Juan, donde la Fundación Humanismo y Democracia (H+D) y otras instituciones locales lo han acogido favorablemente y lo han adoptado bajo el "Convenio Río Los Baos: Agua y Desarrollo". El proyecto es financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). En el marco del proyecto, se trabaja en 22 escuelas de la Educación Media de cinco distritos escolares de la regional provincial del Ministerio de Educación en la provincia San Juan de la Maguana.

Además, bajo el enfoque metodológico tradicionalmente implementado, se ha trabajado en las provincias Santo Domingo, Barahona, Elías Piña, San Juan, Dajabón, Azua, María Trinidad Sánchez, Santiago, Monte Plata, San Cristóbal y La Vega, con diversas acciones de sensibilización.

A través del programa se ha logrado la incorporación de más de 40,350 personas que han demostrado un cambio positivo de conducta en el uso del agua, según se refleja en los mecanismos de evaluación y monitoreo del proceso de implementación.

En la Sala del Agua se ofrecen exposiciones de obras hidráulicas, control de calidad del recurso y charlas sobre la importancia del agua. Mediante el proceso se ha logrado capacitar a 8,673 estudiantes de educación básica (primaria), media (secundaria) y de universidades, así como a técnicos y profesionales de diferentes ramas interesados en el tópico.

Cultivando Agua Buena: Cuenca Río Maimón

Cultivando Agua Buena es un programa medioambiental desarrollado originalmente por el Gobierno de Brasil en la cuenca del Río Paraná. El mismo se ejecuta con un modelo de gestión que tiene cuatro componentes estratégicos: Gestión por programas, Gestión por información territorial, Gestión ambiental y Gestión participativa, operando bajo el enfoque del ciclo de gestión de la calidad (Planear, Hacer, Chequear y Actuar).

La incorporación del Proyecto Cultivando Agua Buena en el país es realizada bajo la rectoría conjunta del Ministerio de Energía y Minas (MEyM) y el Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD). La empresa ITAIPU Binacional de Brasil, con el apoyo de la Agencia Nacional de Agua de Brasil, provee asistencia técnica a los referidos ministerios y a las entidades que ejecutan dicho programa en las cuencas del río Maimón en Bonao, del arroyo Gurabo en Santiago y la cuenca del río Al Medio en Padre las Casas.

1. Mediante la Ley Nº 701, promulgada el 8 de abril de 1965, se creó la Secretaría de Estado de Recursos Hidráulicos. El 8 de septiembre se promulgó la Ley Nº 6 de 1965, la que creó el INDRHI. Así nació el INDRHI, como máxima autoridad nacional sobre las aguas superficiales y subterráneas del país, con prerrogativas de controlar y regular el uso de las aguas (Artículo 4 de Ley Nº 6 -1965).

6.2 Organizaciones depositarias del monitoreo

La OMS y la UNICEF son depositarias de la medición de los numerales 6.1 y 6.2.

La OMS, ONU y Hábitat, división estadística, monitorearán el numeral 6.3 en lo referente al tratamiento de las aguas servidas. El 6.3.2 sobre la contaminación de masas de aguas, estará a cargo del PNUMA, lo mismo que el numeral 6.5.1 sobre el grado de aplicación del ordenamiento integrado y el 6.6.1 sobre cambios en los ecosistemas. La FAO es depositaria de los numerales 6.4.1 y 6.4.2 sobre eficiencia y escasez, respectivamente.

Los numerales 6.a.1 y 6.b.1 referidos a los aportes oficiales destinados al agua y al saneamiento y

el grado de ordenamiento institucional con participación serán medidos por la OMS, el PNUMA y la OCDE.

6.3 Avances de la República Dominicana

Respecto del indicador de institucionalización, la República Dominicana avanza poco a poco, pues se discuten tres leyes para fortalecer un reordenamiento en el desarrollo y nueva arquitectura institucional: a) Ley Sectorial de Aguas, con separación de roles y un ordenador del recurso hídrico; b) Ley de Agua Potable y Saneamiento, con el Ministerio de Salud como órgano rector; y c) un Organismo Regulador del servicio.

De igual manera en las cámaras congresuales se discute la Ley de Residuos, también con separación de roles, con rectoría del MARENA y la creación de una superintendencia del servicio de recolección, transporte y disposición final.

6.4 Los ODS más allá de los ODM

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible (actuales) superan los Objetivos de Desarrollo del Milenio (pasados) en los conceptos de monitoreo y de gestión en los seis componentes siguientes:

6.1 Agua potable, 6.2 Servicios de saneamiento e higiene, 6.3 Calidad de Aguas y Aguas Residuales, 6.4 Uso de los recursos hídricos y escasez de agua, 6.5 Gestión de los recursos hídricos, y 6.6 Ecosistemas.

6.5 Cooperación transfronteriza en la gestión del agua entre la República Dominicana y la República de Haití

Este inciso corresponde al ODS 6.3.1 que plantea el arreglo operacional para la cooperación y la delimitación de las cuencas, vinculado al ODS 6.5.1 sobre la gestión de los recursos y que comprende: i) El entorno propicio, ii) instituciones y participación; iii) instrumentos de coordinación; iv) financiamiento.

El entorno es propicio para fortalecer las relaciones con respecto al recurso agua, tomando como antecedente que entre la República Dominicana y la República de Haití existen acuerdos bilaterales y el Tratado de Paz y Amistad Perpetua y Arbitraje desde 1929, el protocolo de revisión de 1936, el Acuerdo Básico de Cooperación Bilateral de 1979 –que dio origen a la Comisión Mixta Bilateral– y en su Quinta Sesión celebrada en 2010 priorizó los temas: a) comercio, inversión y turismo; b) asuntos migratorios, fronterizos, seguridad y justicia; y c)Transporte, comunicaciones y medio ambiente.

Es necesario el manejo coordinado de los multiservicios ambientales en 391 km de frontera y cuencas comunes, principalmente la cuenca del Artibonito, la cual tiene superficie de 9013 km2, correspondiendo 29% al territorio dominicano y el restante 71% al territorio de Haití.

Es saludable una estructura técnica binacional que facilite el intercambio de información sobre el tema del agua, y que aborde los balances hídricos en las cuencas comunes, la reforestación y estudios técnicos de proyectos generadores de capital y el bienestar para ambas naciones.

Los conceptos de equidad o de uso racional referente al balance hídrico no están definidos entre ambas naciones. El marco normativo no tiene alcance suficiente para incluir las fuentes de agua importantes en el sistema del río Artibonito y las aguas subterráneas. Dicha diferencia dificulta la buena comunicación entre ambos estados, sobre sus planes de desarrollo económico, sobre la disponibilidad del recurso agua y su gestión sostenible.

El agua es un patrimonio económico- social, cuyas características físicas y químicas son las que permiten los procesos biológicos y constituye un eje para el desarrollo de la frontera.

Para responder a los problemas y diferencias, los gobiernos de la Republica Dominicana y de Haití, con el apoyo del Fondo Mundial de Medio Ambiente (GEF) y del PNUD elaboraron, mediante un proceso participativo, un Plan Estratégico de Acción que responde a la necesidad de estimular el desarrollo económico con una visión común de la cuenca binacional del río Artibonito. En realidad hay poco avance y al efecto se propone habilitar las capacidades en la gestión del agua en la frontera.

7. Infraestructura y educación

7.1 Evolución histórica: PIB y cobertura de agua potable

En el **Cuadro 18** se registra la inversión en agua potable y saneamiento desde el año 1990 hasta 2017, y proyecciones estimadas atendiendo a las necesidades mínimas necesarias para ir transitando hacia el cumplimiento de los ODS.

Cuadro 18. PIB agua potable

Periodo	PIB US$ Promedio *10⁶	PIB APS (%)	Cobertura Agua (%)	PIB/CAP Cobertura Agua Potable *10⁶ en US$	Incremento PIB por Cobertura Agua Potable (millones US$)
1970 – 1980		0.40			
1980 – 1990	7,074.00	0.37			
1990 – 2000	23,799.30	0.71	65.00	366.14	
2000 – 2005	33,774.70	0.44	71.78	470.53	104.39
2005 – 2010	44,242.42	0.45	74.02	597.68	127.15
2010 – 2015	65,691.0	0.34	74.09	886.70	289.01
2010 - 2015	65,691.0	0.34	84.00	782.04	104.66
2016	68,843.30	0.27	84.00	819.56	37.53
2017	75,040.00	0.30	84.00	893.33	11.30
Datos Proyectados					
2018	78,792.00	0.50	84.84	928.71	109.15
2019	82,731.60	0.75	85.69	965.49	72.16
2020	86,868.18	1.00	86.55	1,003.73	75.02

Fuente: Ing. Castillo Tió, Mesa del Agua: datos a partir del Banco Central/ONE/SISDOM 2014/ MEPyD.

Se puede observar que el valor de 0.5% del PIB en la proyección no se logró porque resultó ser 0.34% para 2018. El monto de la inversión debe ser de 3% del PIB y se propone alcanzar este monto de forma progresiva.

Los valores tabulados al graficarse explican visualmente la situación del sector y la necesidad de emprender acciones vigorosas para resolver este problema (**Figura 3, 4 y 5**).

La inversión requerida para resolver los temas del agua potable, aguas residuales (alcantarillas y plantas de tratamiento), redes de alcantarillados pluviales y la gestión de residuos sólidos demanda una inversión sostenida de 500 a 600 millones de dólares durante los próximos 12 años para alcanzar el ODS-6.

8. Conclusiones

1. La República Dominicana requiere una reingeniería institucional, con separación de roles en lo correspondiente al agua como recurso, al agua y al saneamiento como recurso y a la gestión de residuos, también con separación de roles, a fin de lograr el acceso universal y equitativo de estos servicios a toda la población dominicana. Para el alcance de esta meta se precisa trabajar en equipo, con enfoque de cuenca y con la participación de la sociedad en todos los niveles de decisión.
2. Los recursos monetarios para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible resultan muy altos para ser logrados. Es conveniente estudiar la factibilidad de la alianza público-privada para la obtención de los recursos. De por sí, el enfoque regional y por cuenca para la realización de los servicios derivados del agua como recurso y del agua como servicio junto con los residuos sólidos, podría ser una solución que dé cohesión social a los asentamientos humanos en las diferentes cuencas hidrográficas.
3. El tema de la calidad de agua en las cuencas binacionales y acuíferos transfronterizos constituye la plataforma técnica para el trazado de políticas que mejoren los ecosistemas relacionados con el agua, tales como bosques, montañas, ríos, acuíferos y lagos. Este enfoque es la mejor visión para el desarrollo de la cooperación entre los pueblos fronterizos.
4. Es preciso emprender una jornada de monitoreo de la calidad del agua potable que comprenda la fuente, la presencia de biofilm en las redes de distribución y vigilar la calidad sani-

taria en los sistemas de almacenamiento y distribución para el establecimiento de un modelo de calidad por acueducto en el país.

5. También se requiere elaborar modelos de calidad de los ríos en cada una de las siete principales cuencas hidrográficas midiendo los parámetros, pH, conductividad, DBO, coliformes fecales, turbidez, OD, nitratos, color fosfato, pH, temperatura y establecer el perfil térmico del río en función de la vegetación.
6. De igual modo, es preciso caracterizar las aguas subterráneas en términos de pH y nitritos.
7. Por otro lado, las autoridades y la sociedad misma tienen que promover una gestión de calidad, a fin de recuperar la confianza en el agua procedente de los acueductos para fines de consumo humano.
8. De cardinal importancia es cuantificar la carga contaminante del sector agropecuario, dada la incidencia del contenido del nitrato en las aguas agrícolas que pueden alterar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales.
9. Se hace impostergable la discusión a nivel nacional y de todos los estratos sociales de una ley de financiamiento de los servicios públicos.
10. Finalmente, por lo que respecta a la calidad del agua, República Dominicana tiene que valorar en su dimensión económica los aportes que se generan por el manejo y uso del agua. Todos estos elementos, que a modo de conclusión se acaban de exponer, resultan indispensables para lograr establecer una verdadera política nacional de calidad del agua en el país.

Figura 3. PIB US$ promedio

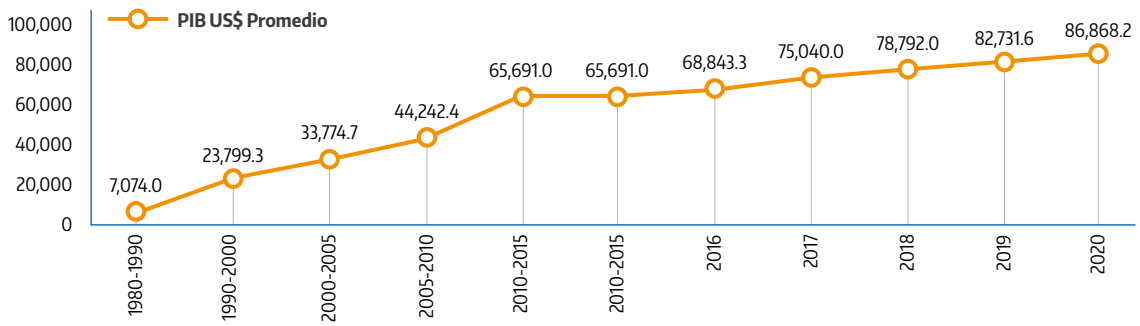


Figura 4. PIB APS (%)

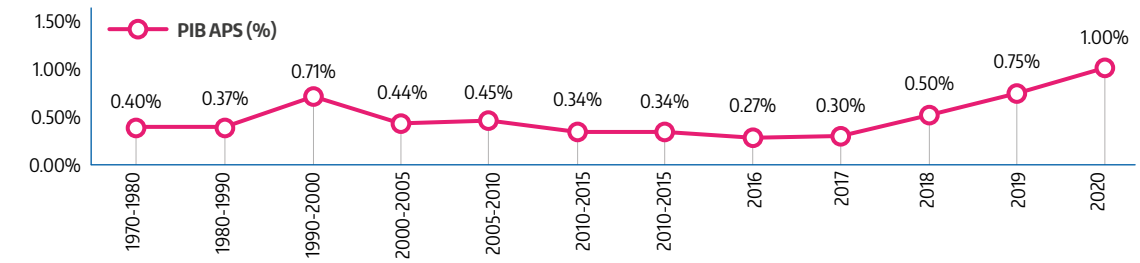
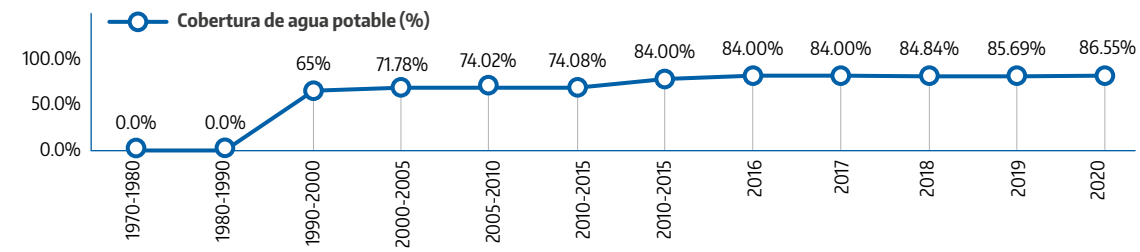


Figura 5. Cobertura de agua potable (%)



9. Recomendaciones

1. Todos los temas del agua deben ser vistos a través del modelo de desarrollo por el que se transite y, sobre todo, el tipo de economía que lo sustenta y, desde luego, es menester recomendar una economía de bajo contenido de carbono.
2. Los recursos humanos responsables de la gestión del recurso agua y prestación de los servicios de agua y saneamiento (vistos como un derecho humano), deben ser seleccionados atendiendo a los criterios de formación, pertinencia y competencia.
3. El agua es un bien de dominio público y, como tal, los beneficios que de ella se obtengan es recomendable que sean transferidos (al menos una parte importante de ellos) para financiar las obras que sean necesarias hasta lograr el acceso pleno al agua y al saneamiento (alma y esencia del ODS 6, visto como un derecho humano fundamental).

Referencias bibliográficas

Abreu, R. (2012a). *Diagnóstico y propuestas estratégicas sector agua potable y saneamiento.* Consultoría de Servicios para el Diseño de la Estrategia y Políticas Básicas para el Sector Agua Potable. Santo Domingo: Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo-MEPYD.

Abreu, R. (2012b). *Estrategia y políticas públicas sector agua potable y saneamiento.* Consultoría de Servicios para el Diseño de la Estrategia y Políticas Básicas para el Sector Agua Potable. Santo Domingo: Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo-MEPYD.

Asociación Dominicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ADIS) (1996). *Los Desafíos del Sector Agua Potable y Saneamiento de Cara al Siglo XXI.* Primer congreso dominicano de ingeniería sanitaria. Santo Domingo: ADIS.

Comisión Presidencial para la Reforma y Modernización del Estado; Comité Técnico Interinstitucional de Agua Potable y Saneamiento (1998). *Análisis Sectorial de Agua Potable y Saneamiento. República Dominicana. Informe Final.* Santo Domingo: CPRYME-OPS/OMS.

Congreso Nacional (30 de julio de 1962). Ley que crea el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados INAPA. [Ley 5994 de 1962]. GO: 8680.

Congreso Nacional (8 de septiembre de 1965). Ley que crea el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos-INDRHI. [Ley 6 de 1965]. GO: 8945.

Congreso Nacional (18 de agosto de 2000). Ley que crea la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [Ley 64 de 2000]. GO: 10056.

Congreso Nacional (18 de marzo de 2001). Ley General de Salud. [Ley 42 de 2001]. GO: 10075.

Congreso Nacional (12 de julio de 2012). Ley del Sistema Dominicano para la Calidad (SIDOCAL). [Ley 166 de 2012]. GO: 10581.

Congreso Nacional (25 de enero de 2012). Ley que establece la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030. [Ley 1 de 2012]. GO: 10656.

Constitución de la República Dominicana (Const.) (2015). Artículos 15 (Tít. I), 50 y 61 (Tít. II), 147 (Tít. IV). Gobierno Dominicano.

Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (2017). Documentación del Departamento de Operaciones de la CAASD Relacionada con sus Actividades de Suministro y Manejo de Calidad de Aguas.

FAO (2015). "Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura". FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID.

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) / Organización Mundial de la Salud (OMS) (2015). *Progresos en materia de agua potable y saneamiento: Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM.* Recuperado de http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMPreport_Spanish.pdf

Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento (FOCARD-APS).

(2013). *Gestión de Excretas y Aguas Residuales. Situación Actual y Perspectivas.* El Salvador: FOCARD-APS.

González, E. (2011). *Disponibilidad y utilización de las aguas superficiales y subterráneas.* Encuentro Nacional sobre los Recursos Hídricos. Santo Domingo: INDRHI.

Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillado (INAPA) / Banco Mundial (BM) (2016). *República Dominicana / Segundo Informe de Monitoreo de los Avances de País en Agua Potable y Saneamiento - Mapas II.*

Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillado (INAPA) (2017). Documentación de los Servicios de INAPA a Nivel Nacional y la Mesa de Coordinación de las Corporaciones de Agua Potable y Alcantarillado.

Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INDRHI) (2012). *Plan hidrológico nacional.* Santo Domingo: INDRHI.

Mercedes, Leonardo (2016). *Informe Final Diagnóstico Nacional de Aguas Residuales y Excretas. Formulación Estrategia Nacional de Saneamiento de República Dominicana.* Programa INAPA-AECID DOM-014-B SBCC. INAPA-AECID 001-2013. Santo Domingo.

Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPYD) (2012). Ley 1-12. Estrategia nacional de desarrollo 2030. Santo Domingo: MEPYD.

Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPYD) (2017). *Mesa del Agua.* Documento Síntesis Informe del País para el 8º Foro Mundial del Agua.

Ministerio de Economía; Planificación y Desarrollo (MEPYD) (2016). *Informe sobre el cumplimiento de los objetivos del milenio 2015: Transición a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.* Recuperado de http://odm.gob.do/Content/Files/Informe_Sobre_el_Cumplimiento_de_los_Objetivos_de_Desarrollo_del_Milenio-República_Dominicana-2015.Pdf

Ministerio de Educación de la República Dominicana (MINERD) (2015). Sistematización del primer año de ejecución de la estrategia de formación continua centrada en la escuela. Recuperado de http://www.inafocam.edu.do/portal/data.2015/sistematización_primer_año_de_ejecución.pdf

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARENA). (2015). *Memoria institucional 2015.* Recuperado de http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/09/MemoriaInstitucional-2015.pdf

Ministerio de Salud Pública de la República Dominicana (MSP) / Organización Panamericana de la Salud (OPS) / Organización Mundial de la Salud (OMS) / Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) (2012). *El Grupo de Agua, Saneamiento e Higiene en República Dominicana y su impacto durante la epidemia de Cólera.*

Ministerio de Salud Pública (MSP) (2014). *Informe preliminar de diagnóstico en hospitales de segundo y tercer nivel de atención.* Documento DIGESA.

Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) (2012). *Encuesta Democrática y de Salud (ENDESA).* Portal ODM (Calidad de aguas).

Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) (2013). *Encuesta nacional de hogares de propósitos múltiples. ENHOGAR 2013. Informe General.* Santo Domingo: ONE

Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) (2014). *Encuesta nacional de hogares de propósitos múltiples. ENHOGAR-MICS 2014. Informe General.* Santo Domingo: ONE.

Oficina Nacional de Estadísticas. (ONE) (2015). *Poblaciones estimadas y proyectadas: Proyecciones y estimaciones urbana y rural 2000-2030.* Recuperado de http://www.one.gob.do/Estadisticas/173/poblacion-estimada-y-proyectada

Presidencia de la República (23 de septiembre de 2016). Creación de la mesa de coordinación del recurso agua. [Decreto 265 de 2016]. GO: Digital. República Dominicana.

Presidencia de la República (15 de agosto de 2011). Ley que crea e integra el Consejo Directivo para la Reforma y Modernización del Sector Agua Potable y Saneamiento. [Decreto 465 de 2011]. GO: 10632. República Dominicana.

Presidencia de la República (2 de junio de 1998). Ley que crea la Oficina rectora de la reforma y modernización del sector agua potable y saneamiento. [Decreto 203 de 1998]. GO: 9985. República Dominicana.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2015a). *Panorama general informe sobre desarrollo humano 2015: Trabajo al servicio*

del desarrollo humano. Recuperado de http://www.do.undp.org/content/dominican_republic/es/home/library/human_development/informe-sobre-desarrollo-humano-2015.html

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2015b). *El país República Dominicana en breve.* Recuperado de http://www.do.undp.org/content/dominican_republic/es/home/countryinfo.html

Reynoso, G. (2017). *Contraste de la disponibilidad y demanda de agua por provincia.* Santo Domingo: Consultoría INDRHI – Banreservas.

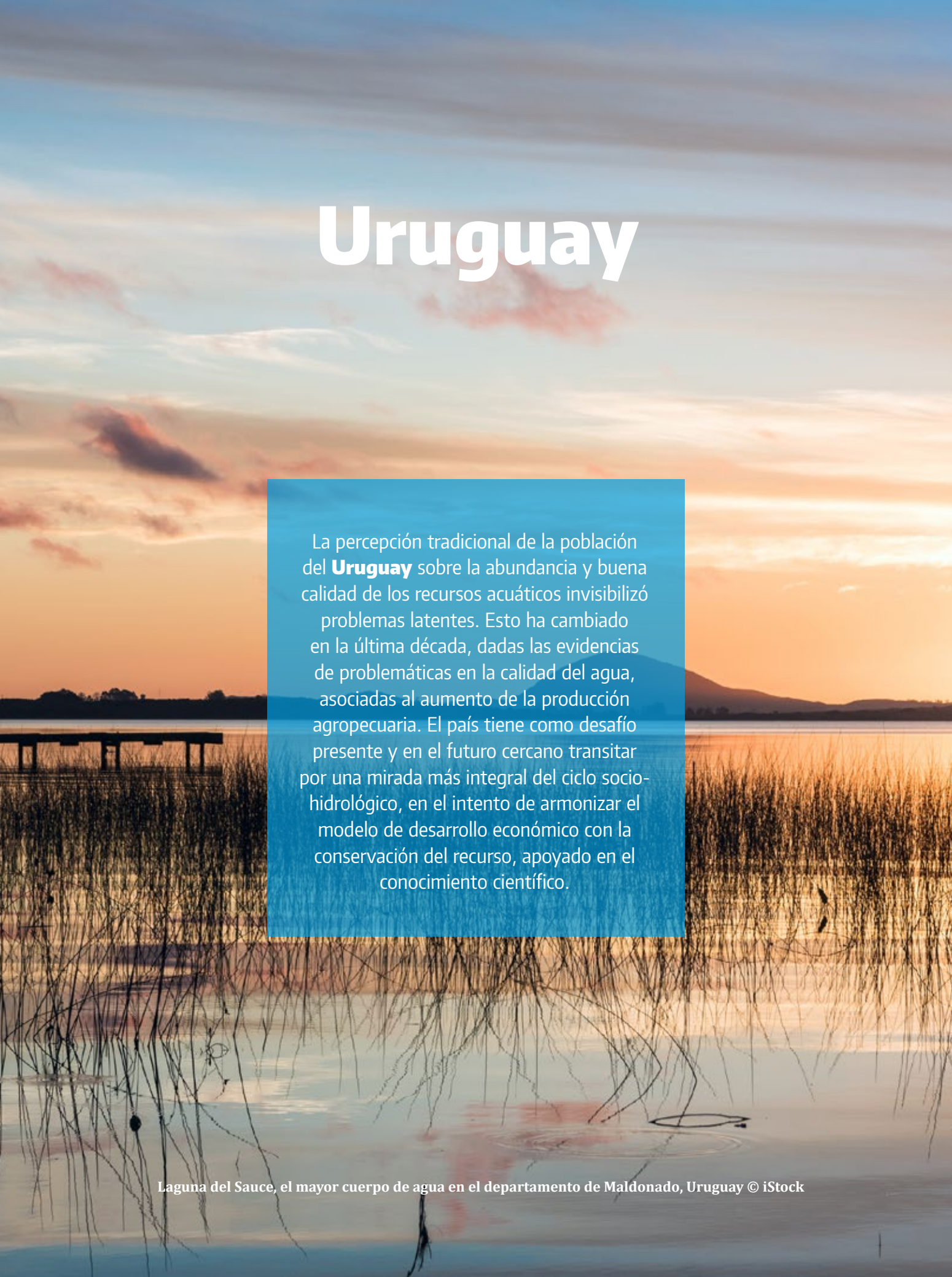
Rodríguez, H. (2006). *Aguas Subterráneas de la República Dominicana.* Santo Domingo: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

Rojas O. F., Horst R., M., Heiland, S. & Venegas I. (2005). *Hacia modelos de gestión sostenibles en agua potable y saneamiento: Evaluación de los existentes y descripción del modelo mancomunitario de carácter mixto.* La Paz, Bolivia.

Secretaría de Estado de Salud Pública (2005). Dec. No. 4205 que establece el Reglamento de agua para consumo humano. En Reglamentos de la Ley General de Salud, No. 42-01. Volumen II. (pp. 69-183). Edición Oficial. Santo Domingo: Comisión Presidencial para la Reforma del Sector Salud-CERSS.

Uruguay

La percepción tradicional de la población del **Uruguay** sobre la abundancia y buena calidad de los recursos acuáticos invisibilizó problemas latentes. Esto ha cambiado en la última década, dadas las evidencias de problemáticas en la calidad del agua, asociadas al aumento de la producción agropecuaria. El país tiene como desafío presente y en el futuro cercano transitar por una mirada más integral del ciclo socio-hidrológico, en el intento de armonizar el modelo de desarrollo económico con la conservación del recurso, apoyado en el conocimiento científico.



Laguna del Sauce, el mayor cuerpo de agua en el departamento de Maldonado, Uruguay © iStock

Calidad del agua en Uruguay: Actualidad y desafíos

Jimena Alonso, Federico Quintans, Javier Taks, Daniel Conde, Guillermo Chalar, Sylvia Bonilla, Rafael Arocena, Signe Haakonsson, Luis Aubriot, Guillermo Goyenola, Pablo Muniz, Analía Marrero, Marisa Hutton, Natalia Venturini, Ana Laura Pita, Karen Iglesias, Mariana Ríos, Natalia Zaldúa, Franco Teixeira de Mello, Alvaro Soutullo, Gabriela Eguren, Matías Victoria, Fernando López Tort, Leticia Maya, Matías Castells, María José Benitez, Andrés Lizasoain, Estefany Bertoni, Viviana Bortagaray, Matías Salvo, Rodney Colina, Karina Azuriz, Natalia Castagnet, Victoria Evia, Ana Fernández, Ximena Lagos, Laura Marrero, Fernanda Milans, Matías Piaggio, Nicolas Rezzano, Julieta López, Lorena Rodríguez, Saúl Garat, Margarita Pintos, Alejandro Iriburo, Beatriz Brena, Hernán Méndez

Resumen

En Uruguay, los efectos del aumento de la producción y la productividad agropecuaria han comenzado a evidenciarse en la calidad de los recursos hídricos, modificando la percepción social tradicional. El gran desafío es armonizar el modelo de desarrollo económico con la conservación de los recursos hídricos, principalmente mediante la implementación de una normativa adecuada, sustentada en el desarrollo científico y la innovación técnica.

1. Introducción

Casi la totalidad del territorio nacional se encuentra dentro de la cuenca del río Uruguay que, junto con los ríos Paraná y Paraguay, conforman el Río de la Plata. Dentro del territorio los cursos de agua superficiales drenan sus aguas dentro de seis grandes cuencas hidrográficas: río Negro (68400 km^2), río Uruguay (45300 km^2), río Santa Lucía (13400 km^2), Río de la Plata (12100 km^2), Océano Atlántico (9300 km^2) y Laguna Merín (27800 km^2) (**Figura 1**). La mayor parte de estas cuencas presentan suelos con bajas tasas de infiltración que, combinadas con una alta intensidad de precipitación, conducen a escorrentías superficiales elevadas, cuyo promedio anual indica una buena disponibilidad de recursos hídricos en relación con la cantidad de habitantes (18900 m^3 per cápita).

Jimena Alonso jalonso@fing.edu.uy, **Federico Quintans** federico.quintans@gmail.com, **Javier Taks** javier.taks@gmail.com y **Daniel Conde** vladddcc@gmail.com de la Universidad de la República (UdelaR) y coordinadores, editores del capítulo y autores de las secciones 1, 5 y 6; **Guillermo Chalar, Sylvia Bonilla, Rafael Arocena, Signe Haakonsson, Luis Aubriot, Guillermo Goyenola, Pablo Muniz, Analía Marrero, Marisa Hutton, Natalia Venturini, Ana Laura Pita, Karen Iglesias, Mariana Ríos, Natalia Zaldúa, Franco Teixeira de Mello, Alvaro Soutullo, Gabriela Eguren, Matías Victoria, Fernando López Tort, Leticia Maya, Matías Castells, María José Benitez, Andrés Lizasoain, Estefany Bertoni, Viviana Bortagaray, Matías Salvo y Rodney Colina** de la UdelaR, autores de la Sección 2; **Karina Azuriz** Obras Sanitarias del Estado (OSE), **Natalia Castagnet** Institución Nacional de Derechos Humanos del Uruguay (INDDHH), **Victoria Evia, Ana Fernández, Ximena Lagos, Laura Marrero, Fernanda Milans, Matías Piaggio,** de la UdelaR, autores de la Sección 3; **Nicolas Rezzano, Julieta López, Lorena Rodríguez** de la UdelaR, **Saúl Garat, Margarita Pintos, Alejandro Iriburo** de OSE, **Beatriz Brena y Hernán Méndez** de la Intendencia Municipal de Montevideo (IMM), autores de la Sección 4.

Las características de los suelos y del clima hacen de Uruguay un territorio particularmente propicio para el desarrollo de la agricultura y la ganadería. Con un PBI superior a los 52000 millones de dólares y una renta per cápita de U$S 15230, actualmente es considerado como un país de alto ingreso (Banco Mundial, 2018). Entre los años 2003 y 2016 el PBI experimentó un crecimiento promedio anual de 4.5%, siendo el sector agroindustrial la principal fuente de generación de riqueza, con 78% del total de las exportaciones.

Si bien históricamente los productos del ganado han sido el principal rubro de exportación, el desarrollo pujante de la agricultura –que ha experimentado un importante aumento tanto en área como en intensidad– ha determinado un aumento de la productividad de los suelos y en los últimos años ha desplazado a la ganadería como principal generadora de ingresos para el país. Durante 2017 las ventas agroindustriales superaron los US$ 9000 millones, siendo los principales productos los granos (en especial soja), carne bovina, productos forestales y productos lácteos (Uruguay XXI, 2016). Por tanto, es un país netamente agrícola y exportador de bienes de origen agropecuario.

Desde inicios del presente siglo, la región templada de América del Sur ha experimentado un incremento en la tasa de cambio de uso del suelo (FAO, 2009). De acuerdo con los datos de la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (MGAP-DIEA, 2003; 2015), en Uruguay la superficie de los cultivos "de secano" aumentó más de cuatro veces entre los años 2000 y 2015. Este incremento se debió en gran parte al cultivo de soja, que se multiplicó por once en el periodo (**Tabla 1**). La silvicultura tuvo una expansión aún más exacerbada, aumentando su territorio ocupado en el mismo período más de 30 veces, a la vez que se intensificó la actividad lechera, en este último caso con una significativa disminución en la proporción de pequeños y medianos productores (**Tabla 1**).

Estos cambios supusieron asimismo un aumento de más de tres veces en la importación de fertilizantes nitrogenados y fosforados (**Tabla 1, Figura 2**), mientras que la cantidad de pesticidas aumentó 20%, siendo los herbicidas los que registraron un mayor crecimiento en las importaciones (30%).

Con una población aproximada de 3.400.000 habitantes (INE, 2015), según palabras de Tabaré Aguerre (ministro de agricultura entre 2010 y 2017) la producción de alimentos en Uruguay alcanza para alimentar a cerca de 30 millones de personas y uno de los objetivos de las políticas gubernamentales es aumentar esa capacidad productiva 30% (Presidencia, 2014).

Desde sus orígenes, el país ha estado vinculado a la ganadería, y las pasturas constituyen su emblema. Al ser un territorio sin grandes accidentes orográficos, casi en su totalidad ha sido utilizado con fines agropecuarios desde la época colonial, donde la propiedad privada ha sido la principal forma de tenencia, las tierras fiscales son escasas y los territorios donde se desarrollan tareas de conservación representan menos de 1% de la superficie del país (MVOTMA, 2016a). De esta forma, los ecosistemas prístinos, entendiendo como tales aquellos existentes con las mismas condiciones previas a la colonización europea, son prácticamente inexistentes. Con una densidad poblacional cercana a los 19 hab/Km^2 y 95% de la población nucleada en centros urbanos, el territorio se caracteriza por una muy baja población en el medio rural (INE, 2015). La percep-

Tabla 1. Evolución del área agrícola, forestal, leche industrializada e importación de fertilizantes nitrogenados y fosforados en Uruguay entre 2001 y 2015

Tipo	Zafra 2000-2001	Zafra 2014-2015
Cultivos de secano (ha)	341000	1500000
Soja (ha)	12000	1334000
Forestación (ha)	58000	1800000
Leche industrializada (miles de litros)	1047	2927
Importación de fertilizantes (ton)	300000	800000

Fuente: DIEA, 2003; 2015.

ción general de los habitantes es que el territorio se caracteriza por grandes extensiones de campo natural, donde domina la naturaleza. Sin embargo, esta concepción ha sido construida desde una cultura fuertemente urbana y europea, ajena a los habitantes originarios y a los ambientes naturales precoloniales. De hecho, varias especies de animales se han extinguido durante la ocupación del territorio, mientras muchas otras se encuentran amenazadas, principalmente debido a la pérdida de hábitats (Soutullo *et al*., 2013).

Figura 1. Mapa de Uruguay, destacando la densa red hídrica principal y las principales cuencas hidrográficas

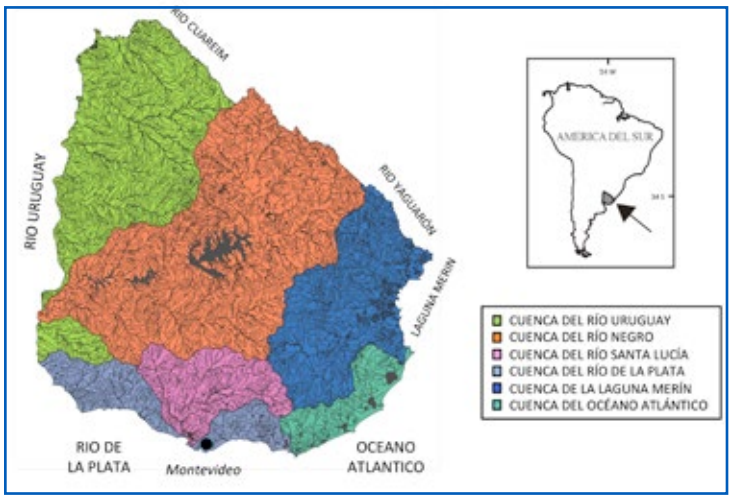
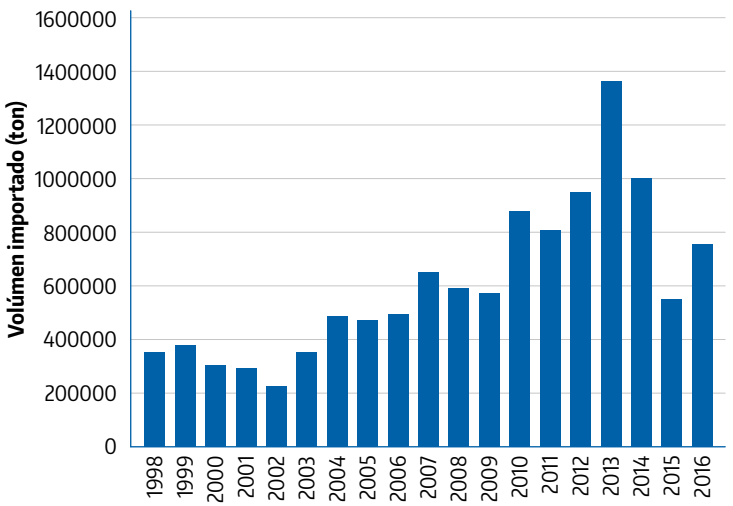


Figura 2. Evolución de la importación de fertilizantes en Uruguay entre 1998 y 2016



Fuente: Datos de MGAP-DGSSAA.

En síntesis, si bien el país cuenta con un escaso desarrollo industrial y su economía es eminentemente agropecuaria, su territorio y sus ecosistemas han sufrido modificaciones en mayor grado de lo que su población lo percibe.

En términos generales, el uso de los recursos hídricos satisface las necesidades de los usuarios, siendo la primera prioridad el abastecimiento de agua potable a poblaciones. No obstante, en un país donde cerca de 95% de su territorio se encuentra bajo algún tipo de uso productivo, es esperable que una gran cantidad de cursos de agua presenten concentraciones de nutrientes superiores a las que se debería esperar o admitir y que una parte de ellos evidencien problemas de eutrofización (Kruk *et al*., 2013; OAN, 2017). En los últimos años han comenzado a visualizarse conflictos de escala nacional entre las actividades productivas y la sustentabilidad del recurso, fundamentalmente para usos recreativos y de abastecimiento a la población debido al deterioro de su calidad (**Figura 3**).

2. Temas actuales sobre calidad de agua en Uruguay

En esta sección se abordarán algunos temas clave sobre calidad de agua en Uruguay. Primeramente se presenta el caso de la eutrofización en los principales cursos de Uruguay y sus embalses, y se incluye un ejemplo específico sobre el tema en la Laguna del Cisne. Seguidamente se aborda la presencia de metales pesados en sedimentos, específicamente en la zona costera de Montevideo, y un caso concreto sobre contaminantes orgánicos en esa zona. Posteriormente se trata la identificación y efectos de agroquímicos en la biota acuática, particularmente peces, y un caso de estudio sobre la presencia de plaguicidas en peces de un sitio RAMSAR en el río Uruguay. Finalmente se aborda el estudio de virus entéricos en diferentes matrices acuáticas. Estas temáticas específicas, siendo cruciales y de actualidad, lógicamente no agotan la totalidad de los problemas sobre la calidad de agua en Uruguay, pero representan algunos de los principales desafíos que el país debe enfrentar en la actualidad o a corto plazo.

Tabla 2. Características de los principales ríos de Uruguay

Río	PT	NT	Área de cuenca	Caudal	Grandes represas (n)
Santa Lucía	200 (<10 – 1060) n=298	920 (105 – 3000) n=160	13413	116	2
Negro	114 (62.8 – 913) n=88	725 (350 – 6000) n=94	70714	930	71
Uruguay	50 (11 – 887) n=473	990(90 – 3300)	440000	4622	66

Se indica mediana y rango (mínimo – máximo) de la concentración de fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT), área de la cuenca de drenaje, caudal del canal principal (promedio histórico) y número de grandes represas (volumen > 3x106 m^3)

2.1 Calidad de agua y estado trófico de ríos y embalses de Uruguay

El incremento de la actividad agrícola, forestal y lechera es reconocido como una de las principales causas de la eutrofización y deterioro de la calidad del agua de ríos, embalses y zonas costeras en todo el mundo (Smith, 1999; Moss 2010). En Uruguay, diversos estudios indican que este proceso está ocurriendo aceleradamente, ocasionando graves problemas en la salud de los ecosistemas terrestres (Oyhantçabal y Narbondo, 2014) y acuáticos, así como en los usos de éstos para actividades pesqueras, recreación y suministro de agua potable (Rodríguez-Gallego *et al*., 2017; Arocena *et al*. 2013; Pacheco *et al*., 2012; Chalar *et al*., 2011).

Estos impactos se suman a los generados por la ganadería tradicional. Estudios de evaluación de la calidad ecológica integral de arroyos en las cuencas de los ríos Santa Lucía (Arocena *et al*., 2008), Negro superior y Tacuarembó muestran una importante y extendida alteración de la cobertura natural de las zonas ribereñas y los cauces, debida a la acción del ganado vacuno, que provoca un impacto físico (pisoteo y herbivoría) y aporta materia orgánica (excrementos). Además, la producción lechera (con alta concentración de ganado) y la agricultura en zonas contiguas a los arroyos contribuyen a la eutrofización de los cuerpos de agua.

Una de las principales consecuencias de la eutrofización es la aparición de floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas. Estos eventos se registran en diversos cuerpos de agua lénticos y lóticos de las principales cuencas del país (Ferrari *et al*., 2011; Bonilla, 2009). Muchas de estas floraciones, con altos niveles de microcistinas (toxinas), pueden tener efectos nocivos para la salud humana, ya sea por contacto directo en actividades recreativas o por consumo de agua potable contaminada. Las microcistinas (hepatotoxinas) son las toxinas más frecuentes en todo el mundo, como también ocurre en Uruguay, aunque también se han reportado floraciones con neurotoxinas en diversos cuerpos de agua lénticos del país (Bonilla *et al*., 2015). Las toxinas también pueden afectar la salud de animales que beben de fuentes de agua con cianobacterias. Se han reportado casos de muerte de ganado en la cuenca del río Negro, probablemente asociados a la ingesta de altas concentraciones de toxinas (Font, 2016).

Figura 3. Playa Ramírez (Río de la Plata) en las costas de Montevideo, donde se observa en primer plano una acumulación de cianobacterias

Se brinda aquí un análisis sinóptico sobre el estado actual de eutrofización de los principales ecosistemas lóticos del país, ríos Santa Lucía, Negro y Uruguay (**Figura 1**). Estos tres ríos reciben impactos antrópicos de diferentes tipos y sus aguas se utilizan con fines múltiples (potabilización, genera-

ción de energía eléctrica, pesca, riego, transporte, recreación y actividades industriales). De acuerdo con las concentraciones de nutrientes totales (**Tabla 2**), los tres sistemas se clasifican como eutróficos e hipereutróficos.

Río Santa Lucía

Se ubica al sur del territorio uruguayo y es el principal recurso de agua potable de Uruguay, abasteciendo a 60% de su población. El caudal para abastecimiento de agua está regulado por tres embalses. El uso del recurso hídrico para agua potable se contrapone al tipo de uso del suelo de la cuenca, su urbanización e industrialización, lo que ha provocado varias problemáticas ambientales y síntomas severos de eutrofización. Las ciudades de la cuenca no cuentan con saneamiento o éste es incompleto y sin tratamiento terciario de efluentes (a excepción de las ciudades de Florida y Canelones). Asimismo, de las 54 industrias operativas (frigoríficas, lácteas, textiles, bebidas), las de mayor parte (23) comenzaron a usar tratamiento completo de efluentes líquidos a partir de 2016. Los usos del suelo son el ganadero (71.3%), incluyendo la lechería y tambos que cubren más de 25% de la superficie de la cuenca, seguido por la actividad agrícola (16.2%) y forestal (4.2%), con 7.2% de monte nativo, humedales, cuerpos de agua y suelos rocosos (Achkar *et al*., 2012). Uno de los síntomas de deterioro ambiental más notorio fue la aparición en marzo de 2013 de una floración de cianobacterias (*Dolichospermum* sp.) con alta producción de geosmina, que otorgó mal sabor y olor al agua.

El río sufre una progresiva eutrofización desde la década pasada, alcanzando niveles históricos máximos de fósforo total (PT) en 2011 (mediana y rango: 510 y 183-1060 µg PT $^{l-1}$, respectivamente) con una tendencia a la estabilización en valores intermedios altos (218-358 µg PT $^{l-1}$, mínimo y máximo en 2015). Un kilómetro aguas arriba de la planta potabilizadora de la OSE descarga el Arroyo Canelón Grande. Este arroyo tiene condiciones hipereutróficas provocadas principalmente por aportes puntuales (industria frigorífica, asentamientos sin saneamiento, cría de animales de corral) y por agricultura intensiva; sus aportes de PT pueden representar más de 50% de la carga al río, principalmente durante períodos de estiaje.

Río Negro

La información disponible sobre la calidad de agua de esta región se centra fundamentalmente en las tres grandes represas en cadena ubicadas en el cauce principal (Rincón del Bonete, Baygorria y Palmar), y en sus mayores tributarios directos (Chalar *et al*., 2014). Los aportes de nutrientes por dichos tributarios, la morfometría dendrítica y los mayores tiempos de residencia del agua en verano determinan la naturaleza eutrófica de estos embalses, en consonancia con los modelos tradicionales de eutrofización (Salas y Martino, 1991). Los estudios demuestran que a partir del año 2000 se ha producido un aumento en la ocurrencia de floraciones de cianobacterias. En forma similar a lo que ocurre en el río Uruguay (Chalar, 2002), en el río Negro durante los meses estivales las cianobacterias se ven favorecidas por un conjunto de factores sincrónicos: aumento de la temperatura, alta bio-disponibilidad de fósforo, limitación relativa de nitrógeno, aumento del tiempo de residencia, aumento de la transparencia y estabilidad de la columna de agua. En los tres embalses se han registrado floraciones de cianobacterias en aguas abiertas. dominadas por *Microcystis* spp. y en ocasiones co-dominadas por *Dolichospermun* spp. (González-Piana *et al*., 2011).

Río Uruguay

Es uno de los principales tributarios de la cuenca del Río de la Plata. Se han detectado floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas a lo largo del río, principalmente del género filamentoso *Dolichospermum* (Kruk *et al*., 2015; Ferrari *et al*., 2011), reguladas principalmente por las condiciones hidrológicas. Las floraciones se asocian inversamente a las lluvias y el caudal del río, ya que la concentración de nutrientes es alta (O'Farrell and Izaguirre, 2014). En 1978 se construyó el embalse de Salto Grande (780 km^2) sobre dicho río para la generación de energía eléctrica y abastecimiento de agua potable. Varios estudios indican que el embalse es eutrófico (Conde *et al*., 1993) y presenta floraciones frecuentes de géneros de cianobacterias tóxicas como *Microcystis* y *Dolichospermum* (Kruk *et al*., 2015). La carga de PT a la cabecera del embalse es proporcional al caudal del río y estaría relacionada con la actividad agrícola intensiva que se desarrolla en su cuenca y a la erosión del suelo (Chalar, 2006).

Recuadro 1. Eutrofización de la Laguna del Cisne

La pequeña Laguna del Cisne se encuentra en la zona sur del Uruguay (departamento de Canelones) y recibe aguas de una cuenca de no más de 50 km². Es utilizada para el abastecimiento de agua potable de un amplio sector de la Costa de Oro (Canelones) desde 1970. El sistema se encuentra bajo fuertes tensiones ambientales que derivan de la intensificación del uso del suelo. Como consecuencia, la concentración promedio de fósforo total en el agua de la laguna se incrementó desde aproximadamente 100 a 700 µg PT l^{-1} en menos de 25 años. Estos elevados niveles de nutrientes establecen riesgos ambientales y sanitarios no despreciables, poniendo en riesgo la continuidad del suministro de agua potable.

La situación ambiental mencionada, sumada a un intenso conflicto socio-político generado por el uso de plaguicidas en la cuenca, establecieron las bases para que se conformase la Comisión de la Cuenca de la Laguna del Cisne a fines de 2014. Este ámbito ha permitido avanzar en la adopción de medidas cautelares, la reconversión productiva y la profundización del monitoreo. Las campañas de monitoreo 2016 y 2017 han arrojado resultados auspiciosos en el sentido de un cambio de la tendencia del incremento de los niveles de fósforo. De todas formas, aún no es posible concluir que el proceso se haya revertido. Además, debe tenerse en cuenta que los niveles se encontraban aún muchas veces por encima de lo deseable para una fuente de agua para consumo humano (ca. 500 µg PT l^{-1} en verano de 2017).

Sin duda alguna, el caso de la cuenca de la Laguna del Cisne es paradigmático y típico en cuanto a las relaciones entre intensificación del uso del suelo y consecuencias en la calidad de agua. Por otra parte, las estrategias de gestión de la problemática resultan un caso raro a escala nacional, particularmente por la pequeña escala territorial y por el enfoque de reconversión agroproductiva/agroecológica que promueven las autoridades locales en la cuenca. ¿Será posible revertir definitivamente el proceso de degradación ambiental en la cuenca de la Laguna del Cisne y alcanzar un modelo de desarrollo local sustentable? ¿Cuál será la fuente alternativa de agua potable para la Costa de Oro si la Laguna del Cisne sufre un cambio de estado abrupto?

Perspectivas

El incremento de la extensión e intensidad de las actividades agrícolas y ganaderas, sumado a las predicciones de cambio climático para la región, permiten suponer un escenario de aumento de la eutrofización y deterioro de la calidad de agua de los sistemas acuáticos de Uruguay. Estudios recientes han demostrado que gran parte de los ecosistemas acuáticos, tanto lénticos como lóticos presentan valores de fósforo total que superan el estándar actual permitido por la legislación para toda clase de aguas (límite: 25 µg PT l^{-1} (Decreto 253/79). Los altos niveles de nutrientes en el agua y las previsiones de aumento de temperatura y de los eventos meteorológicos extremos (lluvias intensas y sequías prolongadas) (Van Vliet *et al.*, 2013; IPCC, 2007) afectarán directamente la hidrología de los cuerpos de agua y su estado. El incremento de las lluvias puede generar un mayor aporte de nutrientes al agua por escorrentía y lavado de los suelos agrícolas, aumentando la carga de nutrientes al agua, mientras que las condiciones de sequía derivarían en la disminución de los caudales de ríos y embalses, aumentando los tiempos de residencia del agua y propiciando la aparición de floraciones algales. En este contexto se deberían adoptar en forma urgente todas las medidas pertinentes que tiendan a disminuir la carga de nutrientes en los ríos y embalses y evitar nuevos represamientos de cursos de agua para revertir la tendencia actual de incremento de la eutrofización y pérdida de calidad de agua.

2.2 Metales pesados en los sedimentos de la zona costera de Montevideo

Las actividades antrópicas desarrolladas en las zonas costeras causan la contaminación grave de las aguas y los sedimentos superficiales de fondo, y la zona costera de Montevideo no escapa a este patrón global (Muniz *et al.*, 2015; 2011). En Uruguay, la mayoría de los antecedentes recientes sobre metales en sedimentos han sido realizados en la zona cos-

tera de Montevideo, incluyendo los últimos tramos de los cauces de los tributarios más importantes de esta porción costera. Los principales antecedentes sobre metales en sedimentos superficiales de fondo del estuario del Río de la Plata muestran consistentemente elevados tenores en la zona más interna de la Bahía de Montevideo y el Puerto, disminuyendo hacia la zona costera adyacente. A pesar de una notable disminución en una escala temporal de 10-15 años, recientemente Hutton *et al.* (2015) reportan aún elevados valores de Cr, Pb, Cu y Zn en la zona portuaria y próxima de las desembocaduras de los arroyos Miguelete y Pantanoso, que se encuentran en los rangos de poder ocasionar efectos adversos sobre la biota (PEL; **Tabla 3**), comprometiendo la calidad de las aguas.

Otro estudio reciente realizado en la cuenca del Arroyo Carrasco (Mello, 2011) destaca la elevada contaminación por Cr en el sistema. En la porción más interna de la Bahía de Montevideo, estudios

Tabla 3. Valores máximos, mínimos y medios de varios metales estudiados a la largo de la costa de Montevideo*

		BI	BE	ZE	ZO
	As				
Mín		5.7	5.9	6.0	3.6
Máx		8.1	6.3	7.4	7.9
Med		6.7	6.1	6.7	6.3
TEL	7.24				
PEL	41.6				
	Cd				
Mín		0.6	0.4	0.4	0.5
Máx		1.4	0.5	0.6	0.7
Med		1.1	0.48	0.5	0.6
TEL	0..8				
PEL	4.21				
	Cr				
Mín		28.7	22.4	20.4	29.3
Máx		217.1	41.6	32.1	30.8
Med		163.2	32.3	28.3	27.9
TEL	52.3				
PEL	160				
	Zn				
Mín		160.8	73.1	58.7	83.8
Máx		390	89.8	93.1	128.1
Med		380.2	82.4	83.1	82.7
TEL	124				
PEL	271				

		BI	BE	ZE	ZO
	Cu				
Mín		28.5	28.2	25.1	32.4
Máx		120.5	37.8	36.6	36.6
Med		99.4	33.6	32.4	32.4
TEL	18.7				
PEL	108				
	Ni				
Mín		14.3	13.5	12.6	11.4
Máx		20.4	16.4	19.8	19.8
Med		17.4	15.1	17.5	17.4
TEL	15.9				
PEL	42.8				
	Pb				
Mín		47.1	19.8	17.6	16.8
Máx		139.2	23.5	21.2	40.8
Med		117.2	21.5	17.6	22.5
TEL	30.2				
PEL	112				

* Se presentan también para cada metal los valores TEL y PEL (TEL: nivel de efecto base o *threshold effect level,* que significa la concentración por debajo de la cual no existe riesgo biológico de ningún tipo; PEL: (nivel de efecto probable o *probable effect level,* i.e. la concentración por encima de la cual probablemente habrá algún riesgo biológico, afectando a la biota acuática. Entre el TEL y PEL se entiende que ocasionalmente podrá llegar a existir algún efecto sobre la biota acuática). Los valores corresponden a estudios estacionales realizados durante los años 2010 y 2013. Bahía de Montevideo interna=BI; Bahía de Montevideo externa= BE; Zona Este= ZE; Zona Oeste= ZO. Los valores de concentración son todos en mg kg^{-1} de sedimento seco.

Recuadro 2. Origen, fuentes y distribución de contaminantes orgánicos en la costa de Montevideo

Los sedimentos de la Bahía de Montevideo presentan evidencias de contaminación orgánica crónica, con altas concentraciones de hidrocarburos aromáticos (AH) e hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) (SAHs = 15.7 - 327 μg g^{-1}; SPAHs = 196 – 65501 ng g^{-1}) (**Figura 4**). Estos hidrocarburos derivan del petróleo fresco y degradado, según lo indica la razón pristano/fitano>1 (Colombo *et al.*, 1989) y la alta concentración de la mezcla compleja no resuelta (UCM), respectivamente, pero también de la combustión de petróleo, como lo indica el predominio de PAHs de alto peso molecular con 4-6 anillos aromáticos (Commendatore *et al.*, 2012). Las fuentes principales de estos compuestos son el transporte de petróleo y su refinamiento, las actividades portuarias y las emisiones vehiculares (Venturini *et al.,* 2015). Junto a un significativo aporte antropogénico de hidrocarburos existe, según lo indicado por la razón perileno/SPAHs>10 (Venkatesan, 1988), un aporte natural de hidrocarburos derivados de plantas superiores terrestres, el cual estaría asociado a la contribución continental del Río de la Plata (Venturini *et al.*, 2015). Además, se han registrado en esta zona altas concentraciones de compuestos indicadores de contaminación por aguas residuales, tanto de origen fecal (SEsteroides = 2.28 – 34.8 μg g^{-1}; coprostanol = 0.05 – 21.2 μg g^{-1}) como de detergentes de uso doméstico e industrial (SLABs = 76.3 – 7779 ng g^{-1}) (**Figura 4**). Esto está asociado al tratamiento inadecuado de este tipo de efluentes o incluso a la ausencia de tratamiento. En contraste, los sedimentos de la zona costera próxima a Montevideo presentan niveles entre moderados y bajos de contaminación orgánica, comparativamente a otras ciudades costeras de la región y del mundo (Venturini *et al.,* 2015 y referencias allí incluidas).

geocronológicos han mostrado un impacto antrópico por metales derivados de actividades industriales y portuarias durante la mayor parte del siglo XX. Los últimos estudios sobre distribución espacial de metales pesados en la zona costera de Montevideo muestran interesantes cambios temporales: la mayoría de los metales ha disminuido sus concentraciones en la región más interna de Bahía de Montevideo y zona portuaria, notablemente el Cr y el Pb, pero también se observan importantes disminuciones de Zn e incluso de Ag (Muniz *et al.*, 2015; García-Rodríguez *et al.*, 2010).

La prohibición de uso de combustibles con Pb, la disminución de actividades de curtiembres, el desuso de la fotografía clásica dejando paso a la fotografía digital y un mayor control y mejora del sistema de vertido de efluentes a los cauces de los arroyos Miguelete y Pantanoso son algunas de las explicaciones válidas para esta notable disminución. Por otro lado, la zona costera adyacente se presenta hoy día relativamente homogénea desde el punto de vista de concentración de elementos metálicos, detectándose un claro aumento en la porción Oeste de Montevideo (Muniz *et al.*, 2011), que 15 años atrás se mostraba como la porción costera más prístina del Departamento (Muniz *et al.*, 2004). En este sentido, es destacable la existencia reciente de efluentes sin tratar derivados de asentamientos urbanos irregulares en esta zona de la franja costera de Montevideo (Muniz *et al.*, 2011; IMM, 2009). A pesar de esto, para varios de los metales estudiados, las concentraciones en sedimentos se encuentran por debajo del nivel umbral (TEL; **Tabla 3**), indicando que sería esperable que no ocasionen efectos adversos sobre la biota.

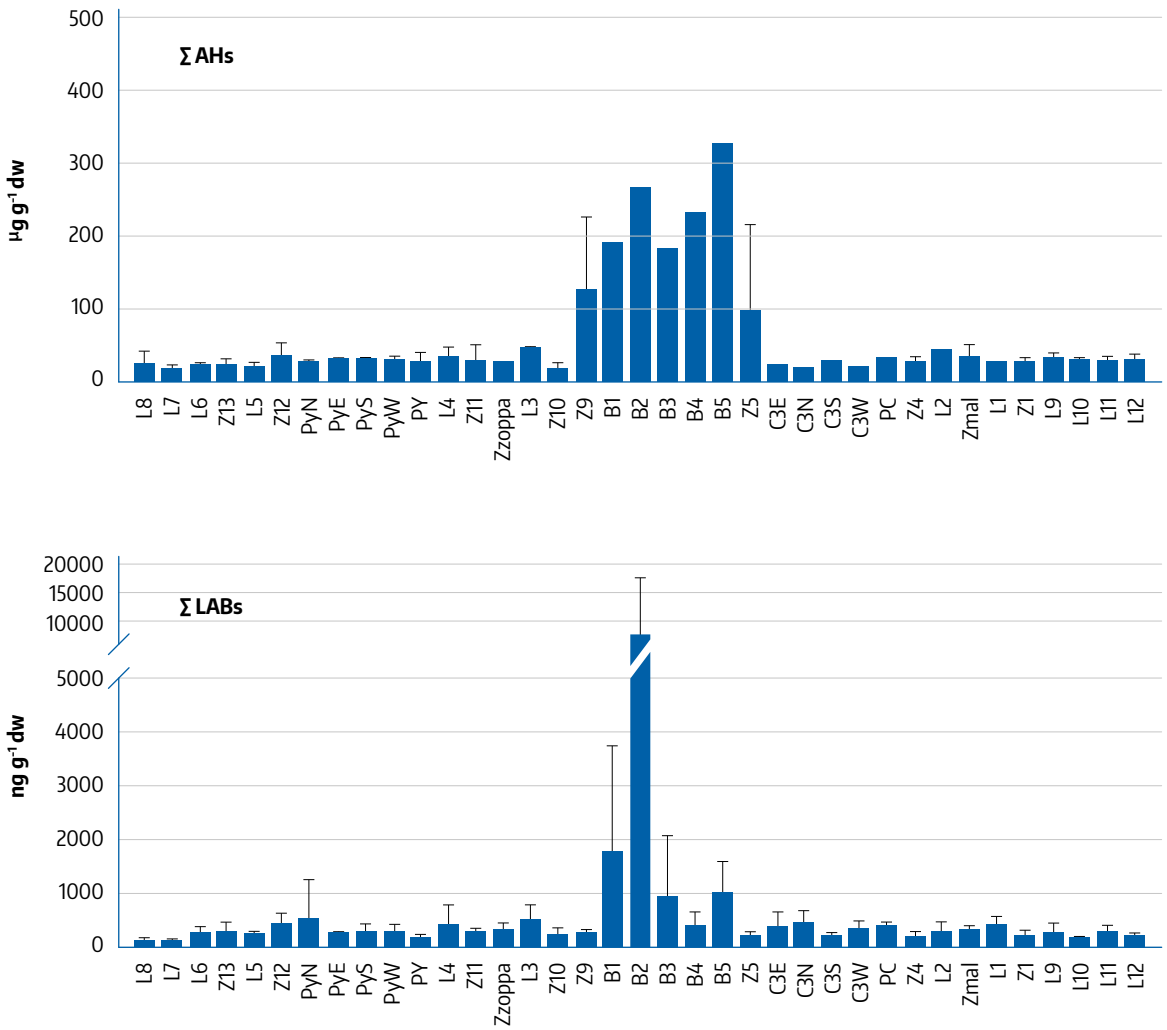
2.3 Efectos de agroquímicos en la biota acuática

Si bien el cambio en la matriz productiva en Uruguay está instalado y las proyecciones indican que la intensificación del uso del suelo continuará, son escasas las evidencias científicas a nivel nacional sobre los potenciales efectos de la exposición a pesticidas en la biota acuática.

La mayoría de los trabajos disponibles utilizan peces como modelo experimental. Los mismos incluyen estudios de campo y laboratorio sobre efectos a distintos niveles de organización (desde molecular hasta cambios en atributos poblacionales y comunitarios), asociados a determinados rubros agrícolas. En tal sentido, estudios de campo realizados en cuencas localizadas en Melilla (Montevideo),

un área rural con intensa actividad hortícola y frutícola, evidenciaron alteraciones en el metabolismo del grupo hemo en peces. Ejemplares de *Astyanax aff. fasciatus,* colectados en un sector de la Cañada del Dragón donde se desarrolla la producción de frutales de hoja caduca, presentaron una acumulación significativa de protoporfirina, coproporfirina y uroporfirina (Carrasco-Letelier *et al*., 2006) (**Tabla 4**). En la cuenca del Arroyo Juncal se observó un patrón de acumulación diferencial de las porfirinas específicas en peces con diferentes hábitos, tanto alimentarios como de posición en la columna de agua. Se registró una acumulación significativamente mayor en especies asociadas al sedimento (*Corydoras paleatus*) respecto a las que se localizan en la columna de agua (*Jennynsia multidentata, Gymnogeophagus meridionalis* y *Cheirodon interruptus*) (Matteo, 2008) (**Figura 5 a-c**). Por otra parte, en estudios de campo y laboratorio con ejemplares de *A. aff. fasciatus* colectados en Melilla, se ha detectado alteración de la actividad acetilcolinesterasa cerebral debido a la exposición a una mezcla de pesticidas organofosforados y carbamatos, empleados en la producción de frutales de hoja caduca (Pistone *et al*., 2012). En tal sentido, estudios en condiciones controladas de exposición a metil azinfos (48 h) mostraron signos de intoxicación en *A. aff. fasciatus* a concentraciones entre 1 y 4 mg $^{l-1}$ (reducción de la

Figura 4. Concentración de hidrocarburos alifáticos totales (∑AHs; arriba) y alquilbencenos lineares totales (∑LABs; abajo) en los sedimentos de la Bahía de Montevideo



Nota: (L8-Z9: Montevideo Oeste; B1-B5: Bahía de Montevideo; Z5-L12: Montevideo Este).

Tabla 4. Variación del metabolismo del grupo hemo en *Astyanax aff. fasciatus* de la Cañada del Dragón*

Río	Zona A	Zona B	Zona C
Masa del hígado (g)	53.63 ± 23.20 (7)	94.79 ± 38.62 (10)	NS
Coproporfirina *	239.18 ± 49.93 (7)	188.53 ± 29.87 (10)	0.034
Uroporfirina *	257.33 ± 57.32 (7)	196.22 ± 28.91 (10)	0.018
Protoporfirina *	634.72 ± 122.64 (7)	476.27 ± 74.72 (10)	0.010

* Los valores son expresados como media ± DS (número de muestras). * nmol g^{-1} de tejido hepático. NS: no significativo. Zona A: Uso del suelo fruticultura intensiva. Zona B: Uso del suelo praderas y humedales.

Tabla 5. Actividad acetilcolinesterasa cerebral en grupos de *Astyanax aff. fasciatus* expuestos en condiciones controladas a concentraciones crecientes de metil azinfos (pesticida organofosforado) durante 48 horas*

Metil azinfos (mg^{l-1})	Actividad AChe específica (nmol min^{-1} mg^{-1} de proteína)	Inhibición (% del Control)
Control	60.38 ± 5.53 (19)	0a
0.01	44.49 ± 3.68 (20)	26b
0.10	27.07 ± 5.06 (20)	55c
1.00	9.45 ± 2.63 (19)	84d
2.00	9.02 ± 2.10 (20)	85d
4.00	8.28 ± 1.45 (19)	87d

* Los valores son expresados como media ± DS (número de muestras). Letras distintas indican diferencias significativas entre grupos (Test de Tuckey $p < 0.05$).

actividad locomotora y alimentación, aumento de la tasa respiratoria, natación en espiral o errática, entre otros). Por otra parte, en este estudio se estimó que la CL50 (48 h) para dicha especie es de 2.31 mg^{l-1} **(Tabla 4)**.

En otras zonas del país, como las cuencas del río Uruguay y del Arroyo Colorado, se observaron efectos endócrinos en peces (Rivas *et al*., 2014; Vidal, 2007). En el primer caso, individuos inmaduros de *Cyprinus carpio* expuestos en condiciones controladas a sedimentos provenientes de áreas bajo la influencia de producción forestal (Depto. de Paysandú) y agrícola (Nuevo Berlín, Depto. de Río Negro, principalmente cultivos de soja) presentaron niveles de vitelogenina significativamente superiores respecto del control (**Figura 6**). En el Arroyo Colorado se observó un efecto a nivel poblacional, registrándose un proceso de masculinización en hembras de *Cnesterodon decemmaculatus*, que alcanza un porcentaje de incidencia de casi 15% en áreas bajo influencia de actividad agrícola.

A nivel del ensamble se han registrado cambios (composición específica, biomasa, diversidad, densidad y estructura de tallas) en cuencas donde el principal uso del suelo es la producción de arroz en rotación con pasturas. Los ensambles de sitios influenciados por el cultivo de arroz son altamente inestables (cambio en la composición y dominancia de especies) y el efecto más significativo ocurre luego del drenaje de chacras, momento en el que el ensamble es dominado por especies catalogadas como tolerantes. Por otra parte, se observa un efecto acumulativo (en sucesivas zafras los cambios son mayores) y, por tanto, los cambios registrados podrían asociarse al uso del suelo, siendo mayores los efectos en la zona arrocera del este que en la norte del país (Eguren *et al*., 2013).

Ernst *et al*. (2018) detectaron la presencia de residuos de pesticidas de uso agropecuario y forestal en músculo de peces de consumo humano procedentes de localidades sobre los ríos Uruguay y Negro (en tres de ellas domina la agricultura conti-

Figura 5. Patrones de acumulación de porfirinas específicas en peces de la Cañada del Dragón: a) Uroporfirina, b) Protoporfirina y c) Coproporfirina

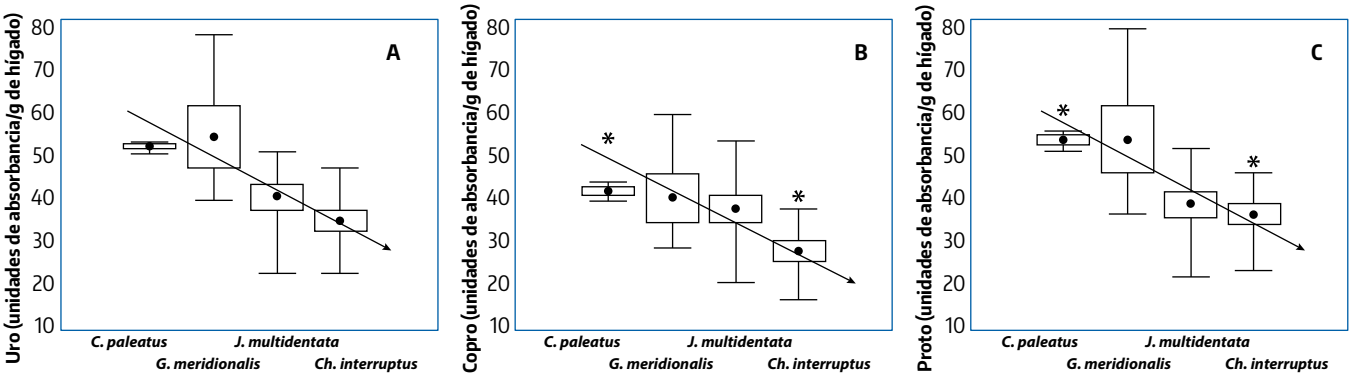
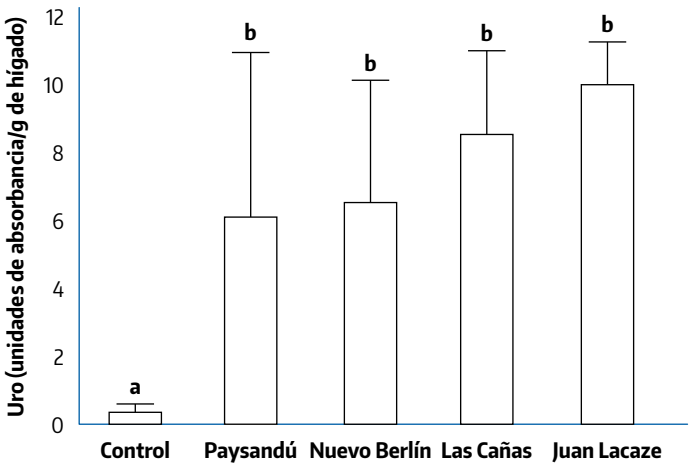


Figura 6. Niveles de vitelogenina plasmática en individuos inmaduros de "carpa común" expuestos a sedimentos del río Uruguay*



*Las barras verticales indican un intervalo de confianza de 95% y, las letras, diferencias estadísticamente significativas.

nua y en una pastizales y forestación). Un total de 15 fungicidas, 10 insecticidas y 5 herbicidas fueron detectados, 28 de los cuales están autorizados para uso en cultivos de secano (principalmente en cebada, sorgo, soja y trigo), siendo los fungicidas los registrados con mayor frecuencia. Si bien en 96% de las 149 muestras analizadas se detectó la presencia de pesticidas (promedio 4 y máximo 21 compuestos por muestra), en la mayoría de los casos los niveles se hallaron por debajo del límite de cuantificación (11-85 µg kg^{-1}). El compuesto que registró el valor máximo fue clorpirifos (194 µg kg^{-1}) en una muestra de *Prochilodus lineatus* (especie detritívora y migratoria). En los casos cuantificables, las concentraciones registradas no superan los valores máximos para consumo humano. En relación con los usos del suelo, los autores señalan que el número promedio de pesticidas por ejemplar fue significativamente menor en la localidad cuyo uso del suelo dominante es pastizales y forestación (San Gregorio de Polanco, cuenca del río Negro). Asimismo, la cantidad y composición de pesticidas fue significativamente diferente al comparar las zonas agrícolas con la zona ganadera.

2.4 Presencia de virus entéricos en diferentes matrices acuáticas

Considerando América del Sur, el estudio de los virus entéricos en diferentes matrices de aguas ambientales (área de estudio concerniente a la virología ambiental) está ampliamente desarrollado principalmente en Brasil y Argentina. Con respecto a Uruguay, hasta el comienzo de la presente década (2010) no existían estudios publicados relatando la presencia y frecuencia de estos virus en las aguas uruguayas.

Uno de los primeros trabajos realizados tuvo como objetivo estudiar la presencia y diversidad genética de Rotavirus (RV), Norovirus (NoV) y Astrovirus humanos (HAstV) en aguas residuales que son directamente vertidas (sin previo tratamiento) al río Uruguay, uno de los principales cursos de agua del país, utilizado para recreación, toma de agua para consumo humano y navegación. Se tomaron muestras quincenales durante el período de un

Recuadro 3. Presencia de plaguicidas de uso agrícola-forestal en peces del Parque Nacional Esteros de Farrapos e islas del río Uruguay

La intensificación del uso sojero y forestal en la cuenca del sitio Ramsar Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del río Uruguay (cuenca 19 en la **Figura 1**) y la elevada aplicación de plaguicidas generan riesgos de contaminación de suelos, aguas y biota de la zona y la población local, así como impactos sobre otras producciones locales. Motivada por la preocupación de los pobladores locales sobre la calidad ambiental de la zona, la ONG Vida Silvestre Uruguay desarrolló una experiencia de investigación participativa para evaluar las concentraciones de plaguicidas en diferentes matrices ambientales del área protegida y su cuenca, incluyendo peces de importancia comercial.

Se eligieron especies de peces con diferentes hábitos alimenticios (piscívoras, omnívoras e iliófagas), para representar diferentes niveles de la red trófica acuática. Los peces fueron colectados en el año 2010 por los pescadores de Nuevo Berlín en su faena diaria. En la **Tabla 6** se resumen los principales resultados encontrados. Se encontró Endosulfán en todos los niveles de la red trófica, incluyendo especies que se alimentan directamente del sedimento (Sábalo), especies omnívoras (Boga y el Bagre amarillo), y una especie principalmente piscívora (Tararira); asimismo, se encontró tanto en especies netamente migratorias (Boga, Sábalo) como residentes (Tararira y Bagre amarillo). Dado que desde 2011 en Uruguay está prohibida la introducción, producción y utilización de Endosulfán, estos resultados resaltan la importancia de repetir estos estudios para evaluar la eficiencia de las medidas tomadas. En las tarariras capturadas también se registró DDT y DDE, uno de sus productos de degradación. El DDE se encontró en 5 de los 6 especímenes analizados, con niveles menores que el DDT. La detección de estos compuestos puede deberse a la alta persistencia de estas sustancias, pero no es posible desechar la posibilidad de que se hayan seguido usando ilegalmente a pesar de su prohibición en 1990 en Argentina y en 2005 en Uruguay.

Por último, es de destacar que el análisis de individuos de sábalo de un evento de mortandad masiva dentro del sitio de estudio constató Endosulfán en concentraciones 52 veces superiores a las registradas en los peces vivos colectados en el río. A modo de referencia, se indica que el valor de Ingesta Diaria Admisible recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el Endosulfán es 0.006 mg kg^{-1} de peso corporal, mientras que para el DDT la Ingesta Diaria Tolerable es 0.002 mg kg^{-1} de peso corporal.

Estos resultados preliminares sugieren la utilidad y eficiencia de evaluar pesticidas en peces como herramienta de biomonitoreo, y plantean la necesidad de avanzar en la evaluación de cuáles son los efectos biológicos y ecológicos de la exposición crónica a contaminantes persistentes y los riesgos que estos compuestos pueden representar para la biota y la salud pública.

Tabla 6. Resultados de presencia de plaguicidas en peces en el Parque Nacional Esteros de Farrapos e islas del río Uruguay (mortandad masiva)

Especie	Plaguicida	Casos positivos	Rango de concentración (mg kg^{-1})
Hoplias malabaricus	Endosulfán total	5/6	0.009 - 0.052
Hoplias malabaricus	DDT	3/6	< 0.0001
Prochilodus lineatus	Endosulfán total	3/3	0.020 - 0.023
Leporinus obtusidens	Endosulfán total	1/3	0.011
Pimelodus maculatus	Endosulfán total	3/3	0.011 - 0.038
Prochilodus lineatus*	Endosulfán total	3/3	0.418 - 1.81

año en cuatro ciudades del litoral Noroeste uruguayo (Bella Unión, Salto, Paysandú y Fray Bentos). Los mencionados virus fueron estudiados debido a que representan los principales agentes virales responsables de gastroenteritis aguda en niños menores de 5 años. Los resultados de dichos estudios demostraron la presencia de un alto porcentaje (80%) de detección de estos virus entéricos, evidenciando una amplia dispersión y con elevadas cargas virales, desde estas aguas residuales hacia el río Uruguay. NoV fue el virus más frecuentemente detectado, con 51% de las muestras analizadas positivas,

seguido de RV con 49% y HAstV con 45%. Por otro lado, cuando se analizó cada ciudad por separado, estos virus entéricos estaban presentes con frecuencias muy similares (50-51%), siendo la frecuencia de detección viral levemente más baja en la ciudad de Bella Unión (40%). Esta ciudad es la única de las cuatro analizadas que presenta una planta de tratamiento de aguas residuales con sistema de lagunas.

Como era de esperar, estos virus entéricos, al ser excretados en altas concentraciones en la materia fecal de los individuos infectados, se presentaron en elevadas concentraciones en las aguas residuales. Las concentraciones o cargas virales detectadas en estas muestras variaron de 4x103 cg $^{l-1}$ (copias genómicas por litro) a 4x107 cg $^{l-1}$. Considerando cada virus, se observó una concentración levemente mayor de RV que de NoV y HAstV. Los RV y HAstV fueron detectados con una mayor frecuencia en los meses más frío del año, evidenciando una probable circulación elevada de estos virus en esas poblaciones en los meses del invierno. A través del estudio genético de estos virus se pudo observar que los tres virus entéricos estudiados presentaron una elevada diversidad genética (Victoria *et al*., 2016, 2014; Lizasoáin *et al*., 2015; Tort *et al*., 2015). De forma similar, los NoV fueron estudiados en aguas residuales provenientes de vertederos localizados en la costa este de la ciudad de Montevideo durante un período de seis meses, siendo detectados en 33% de las muestras y en altas concentraciones (Alberti, 2012).

Si bien los diferentes procesos empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) no eliminan totalmente los virus de los efluentes tratados, tasas de remociones elevadas de hasta 6 log10 han sido reportadas en diferentes tipos de procesos (Zhang *et al*., 2016). Actualmente en Uruguay, a pesar de tener un gran número de ciudades con PTAR, todavía existe 32% de las capitales departamentales que no presenta PTAR, incluyendo Montevideo. Teniendo en cuenta estos datos, se realizó un estudio en el que se evaluó la presencia de virus entéricos en una PTAR con tratamiento terciario y posterior desinfección con luz UV. A modo de resumen, de los resultados obtenidos se observó que los cuatro virus entéricos estudiados (RV, NoV, HAstV y adenovirus humanos, HAdV) presentaron una disminución tanto en el porcentaje de positividad como en la concentración viral a lo largo del proceso, evidenciando que este tipo de combinación de procesos son eficientes para reducir el impacto de los virus entéricos en los efluentes tratados que son liberados a cuerpos de aguas ambientales (A. Lizasoáin, com. pers.).

Debido a la presencia de virus entéricos en altas concentraciones en las aguas residuales no tratadas y su disminución en los efluentes de las PTAR, así como también la ausencia de PTAR en varias ciudades importantes del Uruguay, estos virus han sido estudiados en varios cuerpos de aguas recreacionales que son utilizados para diferentes fines por la población uruguaya. En las aguas recreacionales de diferentes sitios de la ciudad de Barros Blancos (región Sur del país), los virus entéricos RV, NoV y Picobirnavirus fueron detectados en 90% de las muestras analizadas, mostrando una amplia distribución territorial con presencia tanto de virus humanos como bovinos, evidenciando el riesgo elevado de infección de los pobladores de esa ciudad (Gillman, 2016). A su vez, resultados preliminares de un estudio que se está llevando a cabo en muestras de aguas superficiales de dos importantes ríos, como los son el río Uruguay y el río Santa Lucía (que abastece de agua a gran parte de la ciudad de Montevideo), indican que estos ríos presentan una moderada contaminación por HAdV y Poliomavirus bovinos, destacando una vez más una contaminación fecal no sólo antropogénica sino también debida a la presencia de ganado vacuno en las costas de estos cursos de agua (V. Bortagaray, com. pers.).

En Uruguay, las aguas subterráneas son frecuentemente utilizadas tanto para el consumo humano en áreas rurales y suburbanas como para las actividades agropecuarias. Un estudio realizó la detección y cuantificación de los RV, NoV y HAdV en aguas de pozos semi-surgentes del departamento de Salto, y los resultados muestran una contaminación de esos pozos por RV en 32% de las muestras analizadas, evidenciando la contaminación viral del acuífero de Salto y su vulnerabilidad a la infiltración de aguas residuales a través del terreno (P. Gamazo, com. pers.).

En conclusión, podemos indicar que las aguas residuales aportan una elevada carga de virus entéricos a los cuerpos receptores, que muchas veces son ríos utilizados para diferentes actividades humanas como la recreación y la toma de agua para

consumo. Sin embargo, ha sido observado, tanto en Uruguay como en otros países, que esas PTAR tienen la capacidad de remover un importante número de virus en sus efluentes finales (Zhang *et al*., 2016). Si bien en los ríos, la contaminación viral no es elevada, el continuo aporte de aguas residuales (principalmente sin tratamiento) a estos cuerpos impacta negativamente en la calidad del agua de los diferentes recursos hídricos de Uruguay.

3. Aspectos sociales

Este capítulo sobre los aspectos sociales y económicos en su relación con la calidad de las aguas comienza por la manifestación de dicha relación a nivel ciudadano, a partir de las denuncias que recogió la Institución Nacional de Derechos Humanos en 2017. A partir de allí, con la intención de presentar información que explica parcialmente esa conciencia colectiva, se destacan aspectos de percepción del riesgo y estrategias cotidianas para generar confianza en el agua para consumo humano, la relación entre pobreza estructural y vulnerabilidad entre los habitantes de pequeñas comunidades locales rurales dispersas y entre los habitantes de asentamientos irregulares urbanos. Finamente, se realiza una aproximación a un análisis sectorial económico sobre los mayores responsables por la contaminación de cursos de aguas superficiales y subterráneos, industrias y agricultura, así como los sectores más afectados: turismo y pesca artesanal.

3.1 Derechos humanos y calidad de las aguas

La Institución Nacional de Derechos Humanos y Defensoría del Pueblo (INDDHH), creada en 2008, tiene por cometido la defensa, promoción y protección en toda su extensión de los derechos humanos reconocidos por la Constitución de la República y el Derecho Internacional. Es un órgano estatal autónomo que funciona en el ámbito del Poder Legislativo. Varias experiencias en problemas de contaminación del agua u otros inconvenientes en el agua potable han sido recogidas a través de dos mecanismos: a) denuncias presentadas sobre presuntas violaciones de derechos humanos relacionadas a la temática, y b) inquietudes planteadas por integrantes de organizaciones sociales y/u organismos gubernamentales en las actividades a las que la INDDHH convoca.

Las principales denuncias recibidas durante 2017 por la INDDHH relacionadas con calidad del agua, que se encuentran aún en proceso de investigación, giran en torno a las siguientes problemáticas:

- Falta de agua potable en Escuelas Rurales del Departamento de Paysandú. Se planteó que en dos escuelas rurales en el Departamento de Paysandú, en el litoral oeste de Uruguay, el agua corriente, abastecida mediante pozos surgentes, no es potable debiendo comprar agua embotellada para beber y cocinar. Las personas denunciantes manifestaron que la contaminación de dichos pozos de agua se originaría en la utilización de agroquímicos en los predios linderos, donde existen cultivos de soja, a lo que se agrega una problemática de estructura geológica de las aguas subterráneas utilizadas debido a características geoquímicas del acuífero de donde se extrae, además de la finalización del servicio ofrecido por el proveedor estatal de agua potable Administración de las Obras Sanitarias del Estado (OSE) en su programa de pequeñas localidades y escuelas rurales (ver 3.3).
- Falta de tratamiento de los residuos generados en el proceso de potabilización del agua del río Santa Lucía, en la planta de Aguas Corrientes (Departamento de Canelones). Se planteó una denuncia por supuestos daños a la localidad de Aguas Corrientes y sus pobladores, producto de la ausencia de tratamiento a los lodos generados por el proceso de potabilización del agua realizado en la planta de la empresa pública OSE, cuyos residuos son descargados directamente al mismo río Santa Lucía, aguas abajo de la toma de agua. Las personas denunciantes manifestaron que se ha dañado el cauce del río y el monte nativo, y que se produjo afectación a la población tanto en actividades recreativas como económicas, así como la dificultad para el acceso a la información pública.
- Contaminación de fuentes de agua potable por aplicación de agroquímicos. En el año 2016 se presentó una denuncia sobre contaminación de fuentes de agua potable por aplicación de agroquímicos en la cuenca de la Laguna del Cisne, en el Departamento de Canelones. Si bien

la Intendencia de Canelones realizó avances en aspectos preventivos y de control, se planteó preocupación acerca del efectivo cobro de las multas dispuestas a quienes violaron la normativa. Esto motivó un pedido de información acerca de datos al respecto para todo el país al Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), que respondió que, por incumplimiento de la normativa relacionada con la protección de fuentes de agua, entre los años 2013 a 2016 se establecieron diez resoluciones de sanción económica a empresas y/o particulares, sobre las cuales hasta el año 2016 no se había logrado hacer efectivo el cobro de dichas multas.

Por otro lado, se ha registrado una serie de problemas vinculados a la calidad de agua en el país, enunciados por voceros de diversas organizaciones sociales y recogidos durante las Asambleas Nacionales de Derechos Humanos y en el más reciente conversatorio "Agua, Sociedad y Derechos Humanos", organizado por la institución en abril de 2017. Se resaltan las siguientes preocupaciones: falta de indicadores sanitarios que permitan relacionar problemas en la salud de la población con causas ambientales y/o vinculadas a la calidad del agua; falta de una autoridad efectiva de gestión en el tema de agua, responsabilidades difusas y descoordinación interinstitucional, involucrando principalmente a la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA) y a la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), MGAP y Ministerio de Salud Pública (MSP); preocupación por el impacto en los recursos hídricos de grandes proyectos productivos, como una nueva planta de procesamiento de celulosa sobre el río Negro; limitaciones a la participación social institucionalizada en las Comisiones de Cuenca por su funcionamiento, sus funciones asesoras y su bajo número en relación con las cuencas hidrográficas existentes, así como a la no participación ciudadana en los planes de gestión y protección de las aguas, en particular el Plan de acción para la protección de la calidad ambiental y la disponibilidad de las fuentes de agua potable–Cuenca Hidrográfica del río Santa Lucía (desde ahora Plan de Acción del río Santa Lucía; MVOTMA, 2015) y el Plan Nacional de Aguas (MVOTMA, 2017); y críticas a la reforma de la Ley de Riego con Destino Agrario, aprobada en 2017 por el Parlamento Uruguayo.

3.2 Representaciones, creencias y percepción en una agrociudad del litoral uruguayo

Varios de los asuntos que vinculan derechos humanos y calidad de agua para consumo humano surgen en otro registro en una reciente investigación antropológica doctoral (CIESAS, México) desarrollada por Evia (2018). La investigación aborda el problema de las exposiciones laborales y ambientales a plaguicidas agrícolas en una ciudad intermedia y su zona de influencia en el litoral agrícola uruguayo. La metodología de la investigación combina técnicas de investigación social cualitativas y cuantitativas, con un fuerte peso de observación etnográfica en espacios domésticos y productivos (Hammersley y Atkinson, 2014; Emerson *et al*., 2011). Una encuesta entre abril y mayo de 2017 en dos segmentos censales que incluyen suelo urbano y suburbano identificó que entre los "problemas ambientales" la preocupación por "agua y cursos de agua contaminada" apareció en cuarto lugar.

A partir de la observación etnográfica se fue registrando que la preocupación por la "contaminación" del agua era un emergente común entre distintos conjuntos sociales, que existe una representación compartida de que la calidad del agua que distribuye la OSE no siempre es confiable. Ello se expresa fundamentalmente en términos de la preocupación por la "contaminación" del agua o que "el agua de la OSE no se puede tomar". Los elementos sensoriales que resultan más significativos para la población y que son utilizados a nivel doméstico para evaluar la calidad de agua son: 1) olor y sabor "fuertes" o "a cloro", y 2) color y turbidez del agua ("el agua sale blanca"). Al indagar sobre cuáles se presume son las causas de esa "contaminación" se encuentran cuatro principales: en el agua puede haber restos de "los productos que se usan en el campo" (término que engloba tanto plaguicidas agrícolas como fertilizantes); al agua "le ponen mucho cloro"; el agua de la zona tiene alta concentración de "nitritos" y "nitratos", y/o la ciudad no tiene una planta para el tratado de las aguas negras y servidas, por lo cual el caño colector vierte dichos residuos directamente sobre el mismo río en el que

está la toma de agua para la planta potabilizadora a pocos metros de la misma. Las primeras dos causas enunciadas son procesos a los cuales se les atribuye una temporalidad reciente ("en los últimos años", "antes no pasaba"), mientras que las otras dos serían procesos de más larga data. Ni los estudios de monitoreo de calidad de agua oficiales ni sus resultados (por ejemplo, DINAMA, 2016) parecen ser conocidos o utilizados como fuentes de información por la población general.

Del análisis del material cualitativo, se identifica una primera gran división entre a) agua para consumo alimentario, y b) agua para higiene doméstica (lavado de losa, ropas, baño). Dentro del agua para consumo alimentario, se encontró que se distingue entre el agua "para tomar", el agua que se utiliza hervida (para mate u otro tipo de infusiones) y el agua que se utiliza para cocinar. El agua "para tomar" es sobre la que operan criterios más estrictos de "pureza" y restricciones sobre el tipo de fuente a usar. La encuesta referida muestra que respecto de la fuente de agua usada para beber se encontró que: 51% compra agua embotellada, 26,5% utiliza la red pública (OSE), 15,7% utiliza agua de pozo y 5,9% combina agua de red de la OSE con compra de agua embotellada, mientras que la principal fuente de agua usada para preparar alimentos y/o cocinarlos es el agua de red (OSE), con 79,4%, seguida por 16,7% que utiliza agua de pozo/aljibe, 2% combina agua de red de la OSE y pozo y 1% compra agua embotellada para cocinar. Existe una representación de que el agua embotellada (a veces referida como "agua mineral") sería un agua de mejor calidad, mejor sabor y más "saludable", porque no tendría presencia de "los productos" que se le atribuyen al agua de red. Otra práctica relevada, complementaria a la compra de agua embotellada, es el uso de filtros de agua domésticos. El agua filtrada puede ser usada tanto para beber directamente como para hacer infusiones y/o cocinar. Por último, se relevó que es una práctica común la búsqueda y trasiego de agua de pozos "semi-surgentes" que son considerados más "puros" que el agua de red debido a que el agua sale "limpia" por ser los pozos "profundos", aunque es raro contar con análisis de potabilidad de sus aguas; el acceso a estos pozos depende de relaciones de vecindad y ayuda mutua. La compra de agua embotellada, así como el acceso a agua de pozos semi-surgentes, pueden ser interpretados como prácticas preventivas en salud adoptadas a nivel de grupos domésticos como parte de las estrategias de autoatención que desarrollan los conjuntos domésticos (Menéndez, 2009; Haro, 2000) ante la desconfianza respecto de la calidad del agua provista en la red.

3.3 Agua potable pública en el Uruguay rural

El Programa de Abastecimiento de Agua Potable a Pequeñas Localidades y Escuelas Rurales del interior rural disperso del país, fue un programa de gestión compuesto por proyectos que involucraron aspectos técnicos, sociales, comerciales y administrativos en el marco de las tareas que realiza la OSE, empresa estatal que brinda servicios de agua potable en todo el país en forma exclusiva. Uruguay fue el primer país del mundo en declarar derecho humano fundamental el acceso al agua potable y al saneamiento y en ello se enmarca este Programa.

La población objetivo a abastecer fueron unas 300 escuelas rurales, lo que se traduce en 4000 viviendas y 6850 alumnos, constituyendo la población más vulnerable desde el punto de vista socioeconómico y sanitario. Dicha población se abastecía anteriormente de fuentes no seguras: agua de lluvia recogida sin tratamiento alguno, fuentes subterráneas (pozos artesanales, cachimbas, etcétera) y/o acarreo de fuentes superficiales.

El gran desafío no fue sólo dotar de infraestructuras de producción de agua segura, sino también asegurar la sostenibilidad de este servicio a lo largo del tiempo. El 85% de las soluciones fueron perforaciones y, el resto, ampliaciones de redes de agua existentes. Los sistemas de la OSE se duplicaron a la fecha y se requiere de un esfuerzo adicional para operar y mantener estos sistemas geográficamente muy alejados y dispersos. Asegurar la participación de las comunidades rurales desde el principio fue de suma importancia para colaborar con la sostenibilidad del Programa. Para ello, escolares y maestras rurales fueron capacitados por la OSE para realizar controles básicos de calidad relacionados con la aceptabilidad bacteriológica del agua y contribuir en el cuidado del recurso e instalaciones.

El programa comenzó en setiembre de 2010 y culminó en junio de 2016 con una inversión de 12.2 millones de dólares, de los cuales la mitad fue una donación del Gobierno español. A comienzos de

2018 todos los sistemas habilitados han entrado al sistema de monitoreo de calidad de agua que realizan los laboratorios de la OSE para todos los sistemas de agua potable del país.

3.4 Pobreza y aguas urbanas

En el último censo 2011 se identifica que en Uruguay existen 589 asentamientos irregulares a nivel urbano donde residen 165.271 personas (78% en Montevideo) (INE, 2015). El vínculo de los habitantes de los asentamientos irregulares con los cursos de agua naturales es significativo por las actividades productivas y reproductivas que generan impactos negativos sobre los mismos, reforzando las condiciones de vulnerabilidad y riesgo sanitario sobre mujeres, niños y jóvenes (Batthyany, 2009). En estos espacios, los habitantes presentan tasas de desempleo más altas que la media nacional y la gran mayoría de su población se encuentra con niveles de ingreso por debajo de la línea de pobreza, con una tasa de desempleo en las mujeres de casi el doble que la de hombres (29% mujeres y 16.9% hombres) (MIDES, 2016). La estructura demográfica muestra una relación inversa a la nacional con mayor proporción de infancia y juventud que de adultos mayores, altas tasas de fecundidad en adolescentes de hogares con más de dos necesidades básicas insatisfechas (es seis veces mayor que las de ese mismo grupo proveniente de hogares con necesidades básicas satisfechas) (MVOTMA, 2013).

Los asentamientos irregulares en el Uruguay tienen características similares de ausencia total o parcial de soluciones de saneamiento, ausencia o muy mal estado de sistemas de drenaje pluviales, carencia de alumbrado público, déficit en la dotación de espacios públicos, áreas verdes y equipamientos urbanos, y calidad ambiental deteriorada a causa de la existencia de basurales, cercanía de cursos de agua y presencia de zonas inundables. La proporción de viviendas inundables dentro de los mismos es de 13.4%, con respecto a 3.9% de la media nacional y sólo 24% de las viviendas está conectado a la red de saneamiento (INE, 2015).

Las cuencas de los arroyos Miguelete, Pantanoso y Carrasco en la capital Montevideo presentan calidad de agua degradada y asentamientos irregulares en sus márgenes, donde vive un total de 115.763 personas. En sus trayectos reciben aportes de aguas residuales domésticas e industriales con características de estacionalidad (MVOTMA, 2009). A pesar de cierto control estatal, se siguen constatando problemas endémicos como el vertimiento informal de residuos, vertidos de saneamiento urbano sin tratamiento y efluentes industriales con cargas de nutrientes (MVOTMA, 2017). El vertimiento informal de residuos se vincula directamente a la actividad de recolección y clasificación, significativa en asentamientos irregulares. Según un estudio reciente de Caracterización de la Población de Recolectores de residuos de Montevideo (IMM, 2012), este grupo de personas (estimados en 20612, según censo de 2008) presentan indicadores de pobreza mayores que en los grupos vecinos, inclusive dentro del mismo asentamiento, encontrándose en situación de mayor vulnerabilidad y riesgo frente a situaciones sanitarias de diversa índole.

En las prácticas sociales de las poblaciones en dichas áreas, podemos encontrar imaginarios y representaciones asociadas a la naturalidad presente al espacio y su manejo (agua, humedales, vegetación, flora y fauna asociada), a la incertidumbre frente a eventos extremos de origen hídrico (lluvias, inundaciones, degradación) y la representación como espacios de desechos institucionalizados. La representación del espacio marginado y marginalizado tiene que ver con la ocupación en lugares que son significados como los bordes, "áreas de atrás", de bajo valor y alto riesgo, no incluidos en procesos de planificación y donde la presencia de las instituciones del estado, el monitoreo y control, se torna menos visible (Delgado, 2018).

En el presente y futuro se plantea el desafío de repensar desde un enfoque multidisciplinario las políticas en torno al manejo de los recursos hídricos y la calidad ambiental, requiriéndose un enfoque integrador que reconozca el profundo vínculo de las poblaciones con los ecosistemas y la necesidad de generar estrategias de manejo enfocada a su mutuo bienestar.

3.5 Instrumentos económicos para la gestión de la calidad del agua

En Uruguay existen escasos instrumentos económicos en temas relacionados con la gestión de la calidad del agua, pero sí encontramos mecanismos de regulación a través de prohibiciones y normativas que asocian una multa a su incumplimiento, lo cual si estuviera bien diseñado y la capacidad

de monitoreo fuera creíble, funcionaría como un mecanismo de mercado. En este sentido podemos mencionar los planes de uso y manejo de suelo, implementados por la Dirección de Recursos Naturales del MGAP, como un código de buenas prácticas agrarias ya que promueven la aplicación de prácticas culturales que aseguren la sostenibilidad en el uso y manejo del suelo para la producción agropecuaria. Otro ejemplo es la práctica de la Dirección de Control Ambiental de DINAMA y/o la Unidad de Efluentes Industriales de la Intendencia de Montevideo, a cargo del otorgamiento y monitoreo de las autorizaciones de desagüe industriales.

Por otro lado, la Ley Nº 18.840 del año 2013 hace obligatoria la conexión para todos los propietarios o promitentes compradores de los inmuebles con frente a la red pública de saneamiento, contemplando líneas de financiamiento o subsidio para facilitar la conexión de los hogares con menos recursos.

El Plan Nacional de Aguas, aprobado en 2017 (MVOTMA, 2017), propone la incorporación –dentro del desarrollo de instrumentos económicos– de un canon por el uso del agua, el cual es mencionado en el Código de Aguas (1978) y en la Ley de Política Nacional de Aguas (2009), pero nunca se reglamentó. Más aún, cabe notar que dicho instrumento apunta principalmente a una gestión del recurso y no a su calidad. A su vez, pueden estar existiendo en la actualidad instrumentos económicos que provoquen externalidades negativas sobre el ambiente, como las exoneraciones al uso de fertilizantes en las actividades agropecuarias.

En síntesis, si se quiere llevar adelante una política nacional que asegure el cumplimiento de las normas nacionales respecto a la calidad de los recursos hídricos, aquélla deberá desarrollarse de manera integrada, considerando tanto a quienes generan la externalidad como a quienes la perciben.

4. Evaluación, control y protección de la calidad del agua

Uruguay logró tempranamente altos niveles de cobertura urbana tanto de abastecimiento de agua potable como de saneamiento, lo cual probablemente contribuyó a una percepción generalizada en la población de abundancia del recurso hídrico en cantidad y calidad. Sin embargo, existió un estancamiento en cuanto a medidas tendentes a la protección del recurso a nivel de las cuencas hidrográficas, que acompasaran el rápido crecimiento de las actividades productivas, en particular la agricultura. En este capítulo se describen, de forma no exhaustiva, las líneas de avance que está implementando Uruguay para la evaluación, control y protección de la calidad del agua, que incluyen el monitoreo de la calidad del agua, planes de acción para la protección del recurso y mejora de su calidad a nivel de cuenca y, finalmente, los desafíos que se plantean para el abastecimiento de agua potable a la población.

4.1 Gestión del saneamiento y residuos sólidos

Uruguay fue pionero en América Latina en la implantación de sistemas de saneamiento dinámico, habiendo sido Montevideo la primera ciudad de la región en contar con este tipo de servicio. La expansión del sistema hacia el interior del país comprendió, inicialmente, la construcción de redes de alcantarillado en las principales ciudades y su ampliación gradual hacia otras áreas urbanas. Esto permitió alcanzar una cobertura general de saneamiento dinámico de 58,9% en 2011, de acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2015).

A partir de la década de 1990 se comenzó la construcción de nuevas plantas para el tratamiento de efluentes domésticos previo a su vertido final, con el fin de mejorar la calidad de los cursos de agua receptores. De este modo, se buscaba habilitar su uso para recreación por contacto directo, preservar la biota y la calidad del entorno. Las tecnologías de tratamiento aplicadas han ido variando a lo largo de las décadas, por lo que actualmente se cuenta con diversas soluciones de tratamiento y disposición final operando en el país.

El sistema de alcantarillado de Montevideo sirve a más de 82% de la población del departamento. Cuenta con zonas de red unitaria y zonas de red separativa, que conducen los efluentes hacia sistemas de pretratamiento y disposición final en el Río de la Plata mediante emisario subacuático. En el interior del país, en donde la cobertura a nivel urbano se ubica por debajo de 40%, las soluciones de tratamiento y disposición final comprenden: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento primario avanzado (tratamiento fisicoquímico), tratamiento se-

cundario (lodos activados de aireación convencional, lodos activados de aireación extendida, lechos percoladores, zanjas de oxidación, reactores UASB), tratamiento terciario (lodos activados con remoción de nitrógeno y fósforo), sistemas de lagunas de estabilización. Aún existen, sin embargo, algunas localidades en las que se efectúa vertido directo sin tratamiento previo (López, 2015).

Tanto la Intendencia de Montevideo, encargada de la gestión del saneamiento en la capital del país, como la Administración de las Obras Sanitarias del Estado (OSE), responsable por los sistemas de alcantarillado en el interior del país, cuentan con planes de saneamiento que orientan las obras futuras en materia de ampliación de cobertura e incorporación de instalaciones de tratamiento y disposición final. Ambas instituciones vienen implementando los planes en forma sostenida. Otros sistemas existentes en el país corresponden a las soluciones de saneamiento implementadas por el Movimiento de Erradicación de la Vivienda Insalubre Rural (MEVIR). Los sistemas MEVIR comprenden o pequeños poblados o barrios de localidades del interior de país. Cuentan con redes de saneamiento dinámico del tipo de efluentes decantados, generalmente con sistema de tratamiento por lagunas de estabilización previo a su disposición final a curso de agua.

Actualmente, el principal desafío en materia de efluentes domésticos refiere a las soluciones de saneamiento a considerar para las zonas que no cuentan con alcantarillado. Los sistemas aplicados en Uruguay, que a 2011 alcanzaban 41.8% de la población del país (INE, 2015), comprenden mayoritariamente depósitos fijos impermeables, depósitos fijos filtrantes y sistemas de fosa séptica. Estas soluciones, que podrían considerarse como saneamiento adecuado bajo determinadas condiciones, no suelen garantizar en la práctica los criterios mínimos de diseño, construcción, operación y mantenimiento que permitan entenderlas como tales.

Entre los sistemas individuales que se encuentran actualmente en el país, se tienen: depósitos impermeables con limpieza periódica mediante camión barométrico (o de vacío), depósitos impermeables con robador que descarga el efluente líquido al terreno o a la vía pública, depósitos filtrantes, fosas sépticas (ya sea con o sin limpieza mediante camión barométrico) con descarga del efluente líquido al terreno o a la vía pública, fosas sépticas seguidas de sistema de infiltración al terreno o sistema de riego, fosas sépticas seguidas de humedal construido o planta de tratamiento, vertido no controlado al terreno o a la vía pública, etcétera. Una situación similar se da para los lodos descargados por los camiones barométricos que realizan limpiezas de depósitos impermeables y fosas sépticas.

En el año 2004, la Constitución de la República incorporó en su Artículo 47 que el acceso al saneamiento constituye un derecho humano fundamental, lo que implica lograr que toda la población cuente con soluciones de saneamiento adecuado. Para alcanzar este objetivo deben plantearse las distintas soluciones y tecnologías disponibles –tanto soluciones dinámicas como estáticas, sistemas colectivos e individuales–, analizando las ventajas y limitaciones de cada una para poder definir las opciones viables para cada caso. En todos éstos se deberán contemplar los aspectos de diseño, construcción, operación y mantenimiento que garanticen un nivel de protección hacia los usuarios y el ambiente comparable con el que se lograría mediante un sistema dinámico con tratamiento centralizado. Esto implica considerar no sólo el nivel de calidad que se puede alcanzar al poner la solución en marcha, sino el esfuerzo necesario para mantener el estándar de funcionamiento durante toda la vida útil del sistema.

Actualmente se encuentra en desarrollo la componente de saneamiento del Plan Nacional de Aguas (MVOTMA, 2017), para delinear los caminos a seguir en materia de saneamiento a nivel país en aras de lograr la universalización del servicio.

Disposición final de residuos sólidos

El éxito de la gestión de residuos radica en la correcta realización de sus distintas etapas, especialmente en lo que respecta al análisis de alternativas, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sitios de valorización y de disposición final. A nivel nacional, debido a los niveles de inversión requeridos, así como a los costos de operación y mantenimiento involucrados, sólo suele considerarse la alternativa de relleno sanitario (OPP, 2011).

Con excepción de las plantas de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Felipe Cardozo (Montevideo) y Las Rosas (Maldonado), las cuales cuentan con sistemas de recolección y tratamiento de los lixiviados, en la mayor parte del resto del país

se presta un bajo nivel de atención a los servicios de disposición final (SDF) de residuos sólidos, que funcionan con un grado de inversión deficitario. Usualmente no cuentan con impermeabilización de la base de la celda ni sistemas de drenaje pluvial ni de recolección ni tratamiento de lixiviados (OPP, 2011). Inevitablemente, esto causa impactos ambientales negativos, como la generación de gases, contaminación de suelos, contaminación de aguas superficiales y subterráneas –como consecuencia de la gestión deficitaria de lixiviados– y proliferación de vectores, entre otros. A esto se agregan los inconvenientes que provienen del escaso control en cuanto al tipo de residuos recibidos, pudiendo recibirse y disponerse en estos sitios residuos sólidos potencialmente peligrosos.

El desafío en este sector es la mejora de la gestión de residuos en distintos departamentos del interior del país, con la consiguiente minimización de impactos ambientales y sanitarios, especialmente en lo que respecta a los emprendimientos de disposición final.

4.2 Potabilización del agua: desafíos nacionales

La Administración de las Obras Sanitarias del Estado (OSE) es el organismo estatal responsable de la producción y distribución de agua potable en todo el territorio uruguayo. Mantener la calidad adecuada para este suministro presenta una serie de desafíos crecientes, a medida que muchos de los cuerpos de agua utilizados como fuente de agua bruta se ven afectados por la intensificación del uso del suelo en la cuenca de aporte, la contaminación puntual urbana e industrial y el cambio climático, pero también por los cambios en las regulaciones y normativa que se vuelven cada vez más estrictas. En este sentido se hacen necesarias nuevas inversiones en infraestructura e insumos, así como el desarrollo y adaptación local de nuevas tecnologías para afrontar las problemáticas emergentes.

Otro aspecto que se debe destacar es la presión que ejercen la población uruguaya y los medios de comunicación que exigen una alta calidad del producto, en parte, por la tradición instaurada por el propio organismo, a lo que en los últimos años se agrega el creciente conocimiento e información pública en el cuidado del ambiente y la calidad del agua.

Como forma de garantizar la seguridad de sus sistemas de abastecimiento de agua de consumo, el organismo está desarrollando desde el año 2012 una estrategia basada en los Planes de Seguridad del Agua. Estos planes son una forma integral de evaluación y gestión de los riesgos que abarca todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la cuenca de captación hasta su distribución al consumidor. Su objetivo es sistematizar y organizar las prácticas de gestión históricamente aplicadas al agua potable y garantizar su aplicabilidad.

La empresa opera 62 plantas de potabilización de agua superficial y más de 800 perforaciones de agua subterránea, en la mayor parte de las cuales se efectúa tratamiento convencional para la potabilización del agua superficial y cloración en las perforaciones para abastecimiento de agua subterránea.

Fuentes subterráneas

En el caso de las perforaciones para abastecimiento de agua subterránea, las rutinas analíticas de laboratorio que se realizan como control en la OSE no evidencian hasta el momento problemas de contaminación de los acuíferos, con excepción de presencia ocasional de nitratos en zonas urbanas puntuales y de atrazina en un caso aislado que ocasionó el cierre de la perforación ubicada en una zona de uso agrícola intensivo. La principal problemática de calidad en acuíferos está ligada a la presencia de arsénico de origen natural cuya ocurrencia es marcada en las regiones litoral oeste y sur del país. Esta problemática se ha visto profundizada desde el cambio de normativa ocurrido en el año 2011, lo que ha significado que los niveles de arsénico presentes en algunas perforaciones dejaran de ser aceptables para el consumo. Como consecuencia se ha generado la necesidad de adaptar e innovar en el tratamiento, lo cual se está llevando a cabo mediante cuatro diferentes líneas de acción de acuerdo a la situación particular: i) fortalecimiento de los estudios hidrogeológicos que permitan realizar las perforaciones en zonas de baja presencia de arsénico (alternativa más utilizada); ii) tratamiento convencional: floculación y filtración; iii) Osmosis inversa: se está aplicando en forma exitosa en cuatro localidades; iv) Adsorción, en etapa de estudio: el desarrollo de filtros con tecnología propia, utilizando material de desecho de los filtros utilizados para remoción de hierro.

Fuentes superficiales

Debido a episodios de floraciones algales ocurridos en los últimos cinco años tanto en la cuenca del río Santa Lucía, fuente de abastecimiento de la capital del país y zona metropolitana, así como en la zona de Maldonado y Punta del Este (principal balneario) ha aumentado la preocupación de la población en relación con la ocurrencia de dichos episodios. En particular, éstos estuvieron vinculados a la presencia de sabor y olor en el agua distribuida a la población, generando gran repercusión. Si bien el manejo de dichas situaciones no se visualiza como el mayor desafío, debido a su baja frecuencia de ocurrencia, la OSE se encuentra trabajando en la incorporación de tecnología en las plantas mencionadas que permita la mejora del tratamiento mediante la aplicación de ozono en combinación con carbón activado o con filtros biológicos. Dichas mejoras apuntan a complementar el tratamiento que se utiliza ya desde hace muchos años como control de los efectos de las floraciones algales, incorporando carbón activado al comienzo del proceso. La estrategia comunicacional y el manejo de la información hacia la población en oportunidad de dichos eventos se plantea también como un desafío para el organismo.

Un aspecto crítico de los eventos de floración algal es la posible presencia de toxinas de las algas. Actualmente la OSE analiza la presencia de cuatro toxinas tanto en agua bruta como elevada: microcistina, saxitoxina, cilidrospermopcina y anatoxina. De todas ellas, la microcistina es la única regulada actualmente por la normativa nacional y su remoción no presenta dificultades específicas, ya que se logra mediante la combinación de tratamiento convencional y carbón activado. No se ha detectado su presencia en el agua de salida de ninguna planta, aun en aquellos sitios donde se han determinado concentraciones importantes en el agua de las fuentes (ej. el río Negro). También el tratamiento convencional ha sido exitoso en la remoción completa de cilidrospermopsina y anatoxina, si bien sólo se detectó un caso de presencia en agua bruta. La toxina que actualmente presenta el mayor desafío en cuanto a su remoción es la saxitoxina, el episodio más notorio de su presencia ocurrió en el año 2015 en la planta potabilizadora de Laguna del Sauce que abastece de la zona Maldonado-Punta del Este.

La presencia de altos contenidos de materia orgánica en el agua bruta y la consecuente generación de trihalometanos (THMs) como consecuencia de su reacción con el cloro utilizado en el tratamiento convencional para desinfección, se plantea como uno de los principales desafíos a resolver en relación con la calidad del agua suministrada. Este problema pasa a ser crítico cuando los puntos de abastecimiento están alejados de la planta, adquiriendo relevancia el minimizar el uso del cloro y utilizar otros oxidantes (dióxido de cloro u ozono) para reducir la cantidad de materia orgánica.

Otro aspecto relevante para referirse es la creciente presencia de agroquímicos en las fuentes de agua. En este tema, la interacción institucional es clave y por ello se trabaja en contacto con el MGAP que brinda asesoramiento en la preparación y coordinación de los monitoreos que la OSE realiza en el marco de los planes de seguridad del agua, de acuerdo con cuáles son los compuestos que se aplican en la producción agrícola y en qué momentos. En ese sentido, el desafío es conseguir un buen seguimiento de la variabilidad de compuestos y frecuencias de aplicación. Otro punto crítico asociado es el control del lavado de maquinaria en puntos de acceso a las fuentes; los cursos poco caudalosos son especialmente vulnerables a esta problemática.

Los accidentes que puedan afectar la calidad del agua, tanto en planta como en las fuentes y sistemas de distribución, es un aspecto que se está trabajando fuertemente en los Planes de Seguridad del Agua (ver Recuadro 4), en los cuales es crítica la identificación de riesgos asociados a la cuenca, la fuente de abastecimiento y el sistema de tratamiento y distribución. En este aspecto se está trabajando en incorporar a los chequeos de rutina indicadores que permitan la detección temprana de problemas asociados a posibles eventos críticos identificados como riesgo.

Finalmente, se destaca que si bien las actuaciones planificadas actualmente para mantener y mejorar la calidad del agua suministrada a la población se basan en las mejoras tecnológicas del tratamiento en las usinas con las metodologías mencionadas, se debe trabajar, además, y en forma muy importante, en la mejora del manejo hidráulico de los cuerpos de agua. En el caso particular de la cuenca del río Santa Lucía, estudios de consultoría contratados

Recuadro 4. Planes de Seguridad del Agua

La OMS considera que "*El medio más efectivo de asegurar de forma consistente la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua, es a través de un abordaje de evaluación y gestión del riesgo que incluya todos los pasos del abastecimiento del agua desde la fuente al consumidor*" (Bartram *et al.*, 2009) a lo que se denomina Planes de Seguridad de Agua (PSA). El objetivo del PSA es sistematizar y organizar las prácticas de gestión históricamente aplicadas al agua potable y garantizar su aplicabilidad. La metodología de los PSA, se basa en muchos principios y conceptos de otros enfoques de la gestión de riesgos como el enfoque de barreras múltiples y el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control, así como los sistemas de gestión de calidad ISO 9000 (Torres Ruiz y Pardón Ojeda, 2009).

En Uruguay hay avances significativos en materia normativa, ya que recientemente se aprobó el Reglamento de PSA elaborado por el Organismo Regulador (URSEA) y, además, el Plan Nacional de Aguas (MVOTMA, 2017) fijó metas para el número de sistemas con aplicación de PSA. Teniendo en cuenta las especificidades de un sistema dado, un PSA debe proporcionar un marco de referencia para identificar los peligros, evaluar y gestionar los riesgos, incluidas las medidas de control, monitoreo y planes de gestión (en condiciones de rutina y estableciendo planes de contingencia para condiciones excepcionales), así como la documentación relativa a todas las etapas del sistema de abastecimiento de agua.

Considerando las directivas de las últimas ediciones de las Guías de la OMS (WHO, 2011), y entendiendo la importancia de incorporar los conceptos de seguridad del abastecimiento de agua potable, la OSE ha iniciado un programa para elaboración e implementación de planes de seguridad de agua en todo el país. El diseño e implementación de PSA comenzó en 2012 en un sistema piloto, seleccionándose el Sistema de Abastecimiento de la Ciudad de Dolores con 17.174 habitantes (INE, 2015); esta localidad ya contaba con un sistema de gestión de la producción de agua certificado de acuerdo con la Norma ISO 9001:2008. Para comenzar con la diseminación de los PSA en otros sistemas de abastecimiento, se realizaron actividades de formación a efectos de introducir el tema a nivel institucional, sensibilizando y capacitando al funcionariado. Complementariamente se elaboró una serie de documentos generales, entre otros, un Manual General para la Elaboración de Planes de Seguridad de Agua y una Matriz de Riesgos genérica, cuyo objetivo es que los Sistemas de Abastecimiento cuenten con un documento inicial a partir del cual se puedan generar los específicos.

Como estrategia de formación continua se incluyó dentro del plan de capacitaciones de la empresa, un curso donde se aborda como temática central los PSA y su implantación en los sistemas de abastecimiento de la OSE. También se trabaja en la utilización de las herramientas de soporte para los PSA desarrolladas por la Gerencia de Tecnologías de la Información de la OSE, y su empleo para análisis y seguimiento de distintos aspectos relacionados con el desempeño del sistema de abastecimiento. La escala país de la empresa, y su responsabilidad por la gestión del servicio de agua potable desde la fuente hasta la entrada en los domicilios, posicionan a la OSE en un lugar especialmente propicio para la implementación exitosa de esta metodología.

recientemente muestran la necesidad del mantenimiento de caudales adecuados como medida fundamental para mitigar la ocurrencia de floraciones algales. Una línea de acción en este sentido es aumentar la capacidad de regulación hidráulica de la cuenca para lograr a través del manejo de embalses la permanencia de caudales adecuados y la disminución de los tiempos de residencia en los cuerpos de agua.

4.3 La experiencia de la Intendencia de Montevideo en el monitoreo de la calidad de agua y el control a industrias

Montevideo se extiende a lo largo de la franja costera del Río de la Plata y sus numerosas playas constituyen uno de los rasgos más destacados de la ciudad. Existe, a su vez, una extensa red de cursos de agua, siendo el más relevante el río Santa Lucía y sus humedales, que aguas arriba del Departamen-

to se utiliza como fuente para abastecer de agua potable a la capital y el área metropolitana. Históricamente, los principales arroyos de Montevideo –Pantanoso, Miguelete, Carrasco y Las Piedras– han estado vinculados a la red de alcantarillado recibiendo las descargas de aguas residuales, tanto industriales como domésticas, siendo el Río de la Plata y la Bahía de Montevideo los receptores finales de arroyos y el sistema de saneamiento (**Figura 7**).

En consonancia con la política ambiental del Departamento, la Intendencia de Montevideo, a través del Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental, realiza el monitoreo sistemático de calidad de agua de playas y las principales cuencas hidrográficas del departamento.

Playas y aportes costeros: Este monitoreo comprende 40 puntos de muestreo a lo largo de la costa del Departamento (**Figura 7**) y se realiza durante todo el año. La frecuencia del monitoreo es de dos veces por semana en temporada no estival (abril a octubre), se intensifica a tres/cuatro veces por semana en el período estival (noviembre a marzo). Si bien su objetivo principal es controlar la calidad de las playas para uso recreativo y así prevenir riesgos a la salud de los bañistas, el diseño de muestreo permite estudiar series temporales de largo plazo para interpretar, por ejemplo, la influencia de factores externos en el comportamiento del sistema de saneamiento y su impacto en la calidad de agua. Se estudian parámetros fisicoquímicos (salinidad, turbiedad, temperatura), microbiológicos (coliformes fecales) y el seguimiento de las floraciones de cianobacterias (detección visual, clorofila, toxinas de cianobacterias).

Históricamente, la calidad de las aguas de las playas de Montevideo estaba afectada por el saneamiento de la ciudad. Su recuperación para uso recreativo fue posible a partir de la construcción de un emisario de 2300 m en Punta Brava, mediante el que se disponen las aguas servidas de la zona este

Recuadro 5. Monitoreo de calidad de agua en las lagunas costeras atlánticas

La DINAMA, el Centro Universitario Regional Este de la Universidad de la República (CURE), la OSE, la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA-MGAP) y la Intendencia Departamental de Rocha establecieron en 2015 un monitoreo colaborativo entre las distintas instituciones con base en sus capacidades, experiencia e interés. En este acuerdo se contempla el monitoreo de las lagunas Garzón, de Rocha y de Castillos al menos en verano, otoño y primavera. En este programa de monitoreo el CURE realiza la logística de colecta de muestras en las lagunas, el Laboratorio Regional de la OSE realiza la colecta de muestras en arroyos, el SNAP y la IDR colaboran en la logística de campo, y las muestras se analizan por las distintas instituciones de acuerdo con sus capacidades analíticas. En este marco se realiza un abordaje a nivel de cuenca alta, media y baja, con sitios de muestreo en las nacientes de los arroyos, en los arroyos aguas abajo y en diferentes zonas de las lagunas (Norte, Centro y Sur), y en la zona costera adyacente. Se analizan variables físico químicas, nutrientes en agua y sedimento, clorofila, DBO, materia orgánica disuelta y particulada, diversidad bacteriana, coliformes fecales, abundancia y composición de fitoplancton, zooplancton e ictioplancton y cobertura de plantas sumergidas. La política general de este acuerdo es alimentar la base de datos de la DINAMA y compartir la información entre instituciones.

El funcionamiento ecosistémico de las lagunas costeras es altamente complejo, lo que requiere estudios de larga duración. La escala en que se realiza este abordaje permitirá capturar una mayor complejidad tanto espacial como temporal de estos ecosistemas, que aportará al entendimiento de procesos fundamentales como el mantenimiento de la calidad del agua, de la biodiversidad, entre otros. Esto permitirá identificar sitios de mayor deterioro y necesidad de monitoreo, a la vez que relacionarlo con los cambios en los usos de suelo y en el clima, permitiendo elaboración de estrategias de uso sustentable, regulación y control, así como evaluar la eficacia de las políticas actualmente vigentes.

Es fundamental resaltar que esta forma de trabajo colaborativo e interinstitucional permite generar un monitoreo por cuenca a nivel regional y de largo aliento, lo que no le sería posible realizar a una única institución por sí sola en el país. La experiencia y lecciones aprendidas en este programa podrán servir de ejemplo para pensar futuros programas a lo largo del país en el monitoreo de la calidad del agua.

de la ciudad. Sin embargo, dado que el sistema de saneamiento es unitario, es decir que aguas servidas y pluviales escurren por las mismas conducciones, uno de los factores que determinan la calidad de agua de las playas de Montevideo es el impacto de las lluvias intensas a nivel local, que implican la necesidad de realizar vertimientos a la costa. Por esta razón, la Intendencia de Montevideo desaconseja el uso de las aguas de playas para baños en las 24 horas posteriores a la ocurrencia de precipitaciones, ya que los estudios realizados demuestran que transcurrido ese plazo la calidad del agua para uso recreativo se recupera. Esta información se difunde a través de la página web institucional (IMM, 2018a) y de la cartelería existente en cada playa habilitada.

El segundo factor importante con impacto en la calidad del agua es el fenómeno de floraciones de cianobacterias de agua dulce. Éste se da generalmente durante la temporada estival, más fuertemente en años afectados por el fenómeno de El Niño, cuando la descarga de los ríos Uruguay y Paraguay es muy alta y, por lo tanto, la salinidad en el Rio de la Plata es baja. El género predominante en las floraciones en Montevideo es *Microcystis*, destacándose por su potencial para producir toxinas llamadas microcistinas. Los resultados del monitoreo se informan periódicamente a la población en informes que son publicados en la página web institucional (IMM, 2018a). En temporada estival se realizan informes semanales y anualmente también se publica un informe que resume los resultados de todo el año. Debe destacarse, también, que la Intendencia de Montevideo alcanzó la Certificación ISO 14001 para la gestión ambiental de muchas de las playas con el consiguiente aporte al desarrollo ambiental y turístico de la ciudad.

Cursos de agua interiores: Con el objetivo de evaluar el impacto de los planes de saneamiento, se inició en 1997 el monitoreo de los principales arroyos de Montevideo. Este programa continúa hasta el presente y ha ido incorporando puntos en cuencas menores. El muestreo se realiza cuatro veces al año y comprende 29 puntos en los arroyos Miguelete, Pantanoso, Las Piedras y Carrasco y 10 puntos en la cuenca baja del Río Santa Lucía. Por otro lado, dada la importancia estratégica del río Santa Lucía y sus humedales, que ingresaron en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas en febrero 2015 (Decreto 55/015), a partir del año 2009 se incorporó esta cuenca en el Programa de Monitoreo de cuencas mayores de Montevideo. Este programa se propone evaluar la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico, fisicoquímico y ecotoxicológico, a manera de identificar los principales elementos de presión y su evolución en el tiempo; y como herramienta simplificadora e integradora de múltiples factores, el ISCA (Índice Simplificado de Calidad de Agua) (IMM, 2018b).

Los arroyos de Montevideo presentan, en la actualidad, diverso grado de deterioro ambiental en las diferentes cuencas. Esto se debe a las descargas de aguas residuales que provienen en algunos casos del sistema de saneamiento formal, pero fundamentalmente de asentamientos irregulares de población en sus márgenes, así como por la disposición indiscriminada de residuos sólidos (IMM, 2018c). Las obras de los planes de saneamiento han permitido, además de extender la cobertura del servicio de saneamiento público hacia áreas urbanizadas no atendidas, eliminar descargas directas a los arroyos Miguelete, Pantanoso y Carrasco en tiempo seco. A su vez, se han realizado obras de parquización, así como numerosos realojos y re-acondicionamiento de asentamientos de población irregulares en el marco de planes coordinados de gestión que han tenido un efecto notorio en la calidad de agua de los arroyos de Montevideo, en especial en la zona urbana del arroyo Miguelete. Es así como se logró mejorar en términos del índice ISCA, desde una categoría de "agua residual diluida" en 2001, a una categoría de "aguas brutas" o "medias", que se mantiene con oscilaciones desde el año 2003. En cuanto a la calidad de agua y sedimentos de la cuenca baja del río Santa Lucía, si bien es buena en términos microbiológicos y ecotoxicológicos, los niveles de nutrientes son muy elevados.

4.4 Plan de acción para la protección de la calidad ambiental y la disponibilidad de las fuentes de agua potable en la cuenca del río Santa Lucía

El río Santa Lucía y su cuenca hidrográfica presentan un alto valor estratégico para el país, ya que es la fuente de agua bruta para potabilización y abastecimiento a Montevideo y su área metropolitana con 1.873.199 habitantes (INE, 2015). Los suelos de su cuenca hidrográfica (13.433 km^2) se destinan principalmente a la ganadería y la siembra industrial de

Recuadro 6. Estudio de calidad de agua, sedimento y biota del Río de la Plata

Este estudio se realiza en el contexto Plan de Gestión Ambiental y Social de las obras previstas en el Plan de Saneamiento Urbano (PSU) IV desde 2009 al presente (IMM, 2018d). El PSU IV implica, además de ampliar la cobertura de saneamiento a zonas no cubiertas anteriormente, la construcción de un emisario subacuático en Punta Yeguas para la disposición final de los efluentes cloacales de la zona oeste de la ciudad y posibilitar la recuperación de la calidad de agua de la Bahía de Montevideo. Este monitoreo, que se inició en el año 2007 para evaluar el impacto de las obras, se propone estudiar la calidad ambiental del sistema, a través de variables físicas, químicas, microbiológicas y biológicas, antes, durante y después de la construcción de dicho emisario y verificar que estas obras no afecten los usos ecosistémicos del cuerpo receptor. Se estudian 43 puntos de muestreo a 200 y 2000 m de la costa entre la desembocadura del río Santa Lucía y el arroyo Carrasco.

Los resultados confirman que Montevideo está en la zona del frente de salinidad y turbiedad del Río de la Plata, cuya ubicación es variable dependiendo del caudal del río, y evidencian que el sistema se encuentra en un avanzado estado trófico, presentando elevadas concentraciones de nutrientes (IMM, 2018e). Las fluctuaciones de precipitaciones en toda la cuenca del Río Uruguay-Río Paraná, vinculadas con los eventos El Niño-La Niña, producen fuertes variaciones en la descarga del Río de la Plata y consecuentemente modifican la salinidad, turbidez, carga de nutrientes y materia orgánica en la costa de Montevideo. Estas oscilaciones influencian los indicadores de contaminación fecal, así como la ocurrencia de floraciones de cianobacterias. En las temporadas estivales en las que la salinidad en el Río de la Plata se mantiene baja, hay una mayor incidencia de espumas cianobacterianas con alta toxicidad y concentración de clorofila *a*. La alta variabilidad en las precipitaciones, que se espera se incremente en el contexto del cambio climático, constituye un desafío.

Control de Industrias en el Departamento de Montevideo

Los sectores industriales que emiten mayor cantidad de vertidos son los de alimentos, bebidas y tabaco, electricidad, gas y agua, químicos y textiles. Aproximadamente 12,3% de estos efluentes son emitidos como consecuencia de la producción de insumos para otros sectores productivos del país, al tiempo que el resto representa una venta directa de los sectores que emiten efluentes a los recursos hídricos para satisfacer su demanda final, ya sea al mercado doméstico o al externo (Piaggio, 2013).

Desde 1967 la Intendencia de Montevideo cuenta con normativa relacionada con la disposición de aguas residuales industriales (Decreto 13.982 y Resolución 16.277), por la cual se estableció la obligatoriedad para todos los establecimientos industriales localizados en el Departamento de contar con un sistema de tratamiento de efluentes, previo al vertimiento de éstos, ya fuera a colector, curso de agua o esparcir y/o infiltrar al terreno.

En 1997 se puso en práctica una herramienta de gestión, basada en la presentación por parte de las industrias del informe cuatrimestral de actividad (ICA), en el cual aportan datos de producción, insumos, emisión y operación de sus plantas de tratamiento de efluentes (PTE), con análisis físico-químicos del efluente y bajo responsabilidad técnica de un profesional competente. El objetivo es que la empresa desarrolle un sistema que le permita evaluar diariamente sus procesos operativos para el tratamiento y asumir su responsabilidad en el autocontrol de la PTE y, consecuentemente, con el efluente vertido.

En 2014, la UEI se incorporó a la certificación UNIT ISO 9001:2008, sistema de gestión de la calidad del Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental, con el proceso "Programa de monitoreo de efluentes industriales". Este programa involucra a aquellos emprendimientos ubicados en el Departamento de Montevideo que, por su actividad productiva, generan efluente residual con una frecuencia diaria y/o que por sus características generan o puedan generar impactos ambientales significativos. Los objetivos del Programa comprenden: a) evaluar la contaminación proveniente de las empresas involucradas, b) establecer un plan de monitoreo que permita garantizar el cumplimiento con la normativa vigente, y c) valorar la evolución espacio-temporal de la contaminación de origen industrial.

Se han identificado las empresas responsables de 90% de la contaminación de origen industrial de Montevideo, según su contribución real o potencial, conformando el Programa de Monitoreo de Efluentes Industriales, las cuales son inspeccionadas con una frecuencia trimestral. Aquellas industrias responsables de menos de 10% de la

contaminación de origen industrial son controladas con el objetivo de vigilancia y control en forma anual. Como meta del Programa se estableció continuar con la publicación en la página web de la Intendencia de Montevideo de un informe semestral, en el cual se presenta el grado de cumplimiento de la normativa por parte de cada empresa integrante del programa.

En la **Figura 7** se puede observar la evolución de las cargas aportadas por las industrias localizadas en Montevideo, primero controladas en el Plan de Reducción de la Contaminación (años 1997 a 2012) y, luego. controladas en el Programa de Monitoreo de Efluentes Industriales (años 2012 a 2015). A partir del año 2012 se comenzó a evaluar y ponderar las cargas de nutrientes aportadas por las industrias, directamente a los cursos de agua del Departamento.

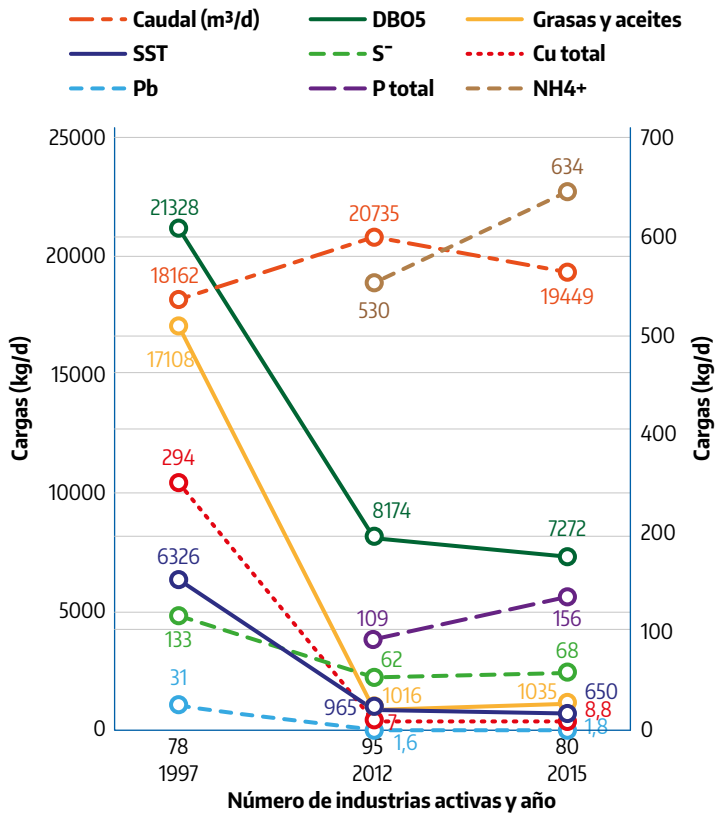
una amplia variedad de cultivos, aunque también son el sustento de gran parte de la producción hortícola, frutícola, vitivinícola, la cría de aves y cerdos, y la actividad lechera del país, junto con un parque industrial destinado al procesamiento de estos productos. En los últimos 15 años, la productividad de algunos sectores ha experimentado un aumento notable, como el caso de la lechería que ha duplicado su producción sin aumentar sensiblemente el área ocupada. Esta situación aceleró el proceso de eutrofización de los cursos de agua, hecho que se venía observando a partir de indicadores en el agua (OEA, 1992; JICA, 2010; 2011), pero que no había generado acciones concretas orientadas a la prevención y mitigación del efecto hasta marzo de 2013, cuando se produjo un evento de olor y sabor a causa de la presencia de geosmina en el agua potable en Montevideo y el Área Metropolitana.

Fue entonces que la Dirección Nacional de Medio Ambiente del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (DINAMA-MVOTMA) elaboró el Plan de Acción del Río Santa Lucía (MVOTMA, 2015). Dicho Plan delimitó dos áreas de trabajo diferencial: Zona A, Sistema Montevideo, que corresponde a la cuenca hidrográfica de Aguas Corrientes, más la cuenca del río San José y el tramo del río Santa Lucía entre Aguas Corrientes y la desembocadura del San José; Zona B, resto de la cuenca hidrográfica del río Santa Lucía hasta su desembocadura en el Río de la Plata.

El Plan se articuló como una serie de medidas, buscando fundamentalmente controlar el aporte de nutrientes a los cursos de agua dentro de la cuenca para detener y revertir el proceso de deterioro de la calidad del agua. Dichas medidas consistieron en:

- Implementación de un programa sectorial de mejora del cumplimiento ambiental de vertimientos de origen industrial en toda la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía y exigir la reducción del nivel de DBO5, nitrógeno y fósforo.
- Implementación de un programa sectorial de mejora del cumplimiento ambiental de vertimientos de origen doméstico (saneamiento) en toda la cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía y exigir la reducción del nivel de nitrógeno y

Figura 7. Evolución del aporte industrial de cargas en Montevideo



fósforo, priorizando las ciudades de Fray Marcos, San Ramón y Santa Lucía.
- Declarar como Zona (A) prioritaria sensible a la cuenca hidrográfica declarada como ZONA A: Río Santa Lucía (aguas arriba de la confluencia con el río San José, Santa Lucía Chico, Arroyo de La Virgen, río San José, Arroyo Canelón Grande y Arroyo Canelón Chico) y exigir en forma obligatoria a todos los padrones rurales ubicados en dicha cuenca, el control de la aplicación de nutrientes y plaguicidas mediante la presentación en el área de los Planes de Uso, Manejo y Conservación de Suelos (Decreto 450/008 del MGAP). Se exigirá fertilizar con base en análisis de sue-

Recuadro 7. Gestión de efluentes de tambos

Dentro del mencionado Plan de Acción, la medida Nº 5 se ocupa de los establecimientos lecheros o tambos: *"Exigir el tratamiento y manejo obligatorio de efluentes a todos los Tambos ubicados en toda la Cuenca Hidrográfica del Río Santa Lucía"*. En su primera etapa de aplicación, esta medida se concentró en los establecimientos con más de 500 vacas en ordeñe. Según datos del Observatorio Ambiental Nacional (2017), hasta el momento la DINAMA ha identificado y registrado 24 tambos dentro de la Cuenca del Río Santa Lucía. Esto refleja que aún resta mucho trabajo por hacer en este sentido, dado que la cantidad de tambos existentes en la cuenca es mucho mayor.

A nivel predial, las aguas residuales en los tambos se generan como consecuencia de la limpieza de la sala de ordeñe y del corral de espera luego de cada operativa de ordeñe. Adicionalmente, si existen zonas de alimentación con piso impermeable, éstas también se constituyen en áreas de generación de aguas residuales, ya sea porque se limpian utilizando agua (generalmente por inundación) o por el escurrimiento de aguas pluviales sobre las mismas. En términos generales, las aguas residuales generadas son ricas en materia orgánica y nutrientes (especialmente nitrógeno, fósforo y potasio). En consecuencia, pueden afectar la calidad de cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Existen varias alternativas de gestión de las aguas residuales; el *Manual para la Gestión Ambiental de Tambos* (MVOTMA, 2016) propone las siguientes a nivel básico:

- Gestión de efluentes para vertido a terreno: este sistema está compuesto por una unidad de desbaste, una de desarenado, una laguna de almacenamiento y un sistema de aplicación del efluente al terreno.
- Gestión de efluentes para vertido a curso de agua: este sistema está compuesto por una unidad de desbaste, una de desarenado, una unidad de separación de sólidos orgánicos, un sistema de lagunas de tratamiento (pudiendo incluir un humedal artificial como última etapa) y un dispositivo de vertido a curso de agua.

A nivel nacional e internacional se observa una inclinación hacia la aplicación de sistemas de gestión de efluentes para vertido a terreno. Este tipo de sistemas presenta la ventaja del uso agronómico de efluentes. Sin embargo, dicho uso debe ser debidamente planificado de forma tal que no sobredosifique nutrientes a las pasturas y que cumpla con los tiempos de espera necesarios previo al pastoreo del cultivo irrigado, así como que permita la inactivación de los microorganismos patógenos aplicados al terreno junto con el efluente. Otro aspecto que se debe tener en cuenta al momento de diseñar este tipo de sistemas es el dimensionado de la laguna de almacenamiento. Ésta funcionará con nivel variable y deberá tener capacidad suficiente para almacenar el agua residual durante períodos húmedos o de suelo saturado, donde la aplicación a terreno no podrá realizarse. Por último, se exige que todas las unidades de gestión de efluentes sean impermeables, incluyendo la laguna de almacenamiento. Al respecto, existen diversos materiales que pueden utilizarse para la impermeabilización de ésta (PEAD, PVC, GCL, arcilla compactada).

En resumen, la implementación del mencionado Plan de Acción ha comenzado a surtir efecto en los establecimientos de la Cuenca del Río Santa Lucía con más de 500 vacas en ordeñe, generando una tendencia a la implementación de sistemas de gestión de efluentes con aplicación a terreno en detrimento de los sistemas de gestión diseñados con vertido a curso de agua (lagunas de tratamiento) utilizados históricamente.

los para alcanzar y mantener la concentración de fósforo (debajo de 31ppm de fósforo Bray).
- Suspender en la cuenca hidrográfica declarada ZONA (A), la instalación de nuevos emprendimientos de engorde de ganado a corral (*feed lots*) u otras prácticas de encierro permanente de ganado en corral a cielo abierto. La suspensión operará hasta que se dicte la nueva reglamentación que regularice la actividad e incluirá también la ampliación de los emprendimientos existentes.
- Exigir el tratamiento y manejo obligatorio de efluentes a todos los tambos ubicados en la cuenca con plazos diferenciales según su tamaño.
- Implementar la solución definitiva al manejo y disposición de lodos de la planta de tratamiento de agua potable de Aguas Corrientes.
- Restringir el acceso directo del ganado a abrevar en los cursos de la cuenca declarada ZONA (A). Construir un perímetro de restricción en el entorno de los embalses de Paso Severino, Canelón Grande y San Francisco.
- Instaurar una zona de amortiguación en la cuenca declarada ZONA (A) sin laboreo de tierra y uso de agroquímicos, para la conservación y restitución del monte ribereño como forma de restablecer la condición hidromorfológica del río, con franjas variables según su importancia.
- Intimar a la solicitud de permiso para las extracciones de agua existentes (superficial y subterránea) que carezcan de aquél, en un plazo máximo de 6 meses, en la cuenca declarada ZONA (A).
- Declarar "reserva de agua potable" a la cuenca hidrológica del arroyo Casupá.
- Recabar opinión en el ámbito de la Comisión de Cuenca del Río Santa Lucía con respecto a las medidas que conforman este Plan, asegurando la participación efectiva de los distintos actores que la conforman.

La plena aplicación de este Plan supone un proceso complejo debido a que varias de las medidas requieren de la creación de herramientas legales y de gestión que las faciliten, así como de la participación y coordinación de diferentes organismos gubernamentales, los cuales no todos se involucraron de la misma forma en su concreción, por lo que los resultados hoy son desiguales. Amorín y Larghero (2017) plantean que los mayores avances se dieron en el control de las fuentes puntuales, donde se realizaron inversiones en tratamiento de efluentes industriales por unos 30 millones de dólares, así como en la implementación de los sistemas de tratamientos de las fuentes domésticas por otro monto equivalente, la cual aún se encuentra en desarrollo. Avances más lentos se produjeron en el tratamiento de efluentes de los establecimientos lecheros o en prácticas de gestión de cuenca (mantenimiento de zona de amortiguación de los cursos de agua y el alambrado de los embalses para evitar que el ganado acceda a los mismos). Por último, los avances relacionados con el control de las fuentes difusas a través de modificaciones en las prácticas agrícolas han sido exiguos o nulos. A pesar de estas dificultades, se han producido avances significativos en la implementación del Plan, aunque su éxito es difícil de evaluar con la información existente debido a la carencia de una línea de base lo suficientemente extensa, así como de indicadores de calidad de agua previamente definidos (Amorín y Larghero, 2017).

5. La calidad del agua en la Agenda 2030 de Uruguay

La calidad del agua es una condición incluida en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU para la erradicación de la pobreza y el hambre, la protección del planeta, la prosperidad y el progreso económico y técnico, el mantenimiento de la paz y las alianzas globales, como resolvió su Asamblea General en setiembre de 2015 con el deseo de "transformar nuestro mundo". Uruguay se ha sumado a la Agenda 2030 y ha conformado una articulación entre la Oficina de Planificación y Presupuesto (OPP), el Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Agencia Uruguaya de Cooperación Internacional (AUCI) para coordinar y dar seguimiento a los indicadores nacionales hacia el cumplimiento de las distintas metas. La DINAGUA-MVOTMA es quien asumió la responsabilidad de dar seguimiento al Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) 6 que propone *"Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos"*, considerando por un lado las declaraciones del derecho humano al agua y el derecho al saneamiento de la ONU de 2010 y 2015 respectivamente y, por otro

lado, la necesidad del cuidado de todo el ciclo hidrológico desde una concepción de gestión integrada de los recursos hídricos.

5.1 Acceso al agua y el saneamiento

Los principales desafíos en nuestro país giran en torno a que las pequeñas poblaciones rurales dispersas accedan a agua potable provista por la OSE. Mientras que para el saneamiento los mayores desafíos son que los hogares que pueden acceder al alcantarillado se conecten (problema principalmente de asequibilidad) y la extensión de modelos no convencionales de saneamiento en áreas urbanas sin saneamiento dinámico. En las poblaciones rurales y peri-urbanas que viven en complejos habitacionales de MEVIR, el desafío es sostener el mantenimiento de los sistemas autónomos de tratamiento de las aguas residuales en una cogestión público-comunitaria.

5.2 Mejoramiento de la calidad del agua

La meta 6.3 es notoria para el tema de calidad de aguas. Los indicadores propuestos son 6.3.1 y 6.3.2. Con respecto al primer indicador (Proporción de aguas residuales tratadas de manera segura) el Plan Nacional de Agua (MVOTMA, 2017) informa que en Montevideo 67% de las aguas residuales domésticas del este de la ciudad, luego de un proceso de desarenado, son evacuadas en un emisario subacuático de más de 2 km de longitud en el Río de la Plata. No sucede lo mismo con las aguas residuales del oeste que se vierten directamente, aunque se prevé para 2020 que 100% de las aguas de la capital serán tratadas de manera segura. En el interior del país las cifras son menos alentadoras: 41% de los hogares tiene conexión a alcantarillado y 80% de sus aguas residuales tiene como destino una planta de tratamiento de efluentes; *"no obstante, casi todas las ciudades ubicadas sobre el río Uruguay, el río Negro o Río de la Plata aún vierten con pre-tratamiento (a excepción de Paso de los Toros). Para estas ciudades existen proyectos de mejora de la calidad del vertido"* (MVOTMA, 2017). Los núcleos habitacionales de MEVIR, en su gran mayoría, cuentan con recolección y tratamiento de efluentes hoy día gestionados por la OSE. Mientras tanto, 57% de los hogares en el interior cuenta con depósitos fijos (filtrantes o impermeables) o sistemas de fosa séptica. La mayor parte de las aguas residuales de estos sistemas no son tratadas de manera segura, pues por un lado los servicios de camión barométrico son insuficientes para cubrir la demanda y, por otro, tienen altos costos, lo cual hace que los hogares no los usen con la frecuencia necesaria o directamente infiltren al suelo, contaminando suelos y aguas subterráneas. Por otro parte, en general no se cuenta con una planta adecuada para estos vertidos, por lo que muchas veces la única función de los camiones es sacar las aguas servidas fuera de la zona urbana disponiéndola directamente en campos o cursos de agua. En cuanto a las aguas residuales de origen industrial, son unas 600 las empresas que han presentado ante la autoridad ambiental la autorización para desagüe industrial, ubicándose la mayoría en la cuenca del Río de la Plata. El control estatal sobre los vertidos industriales es mayor que sobre los vertidos de origen urbano y doméstico.

En cuanto al segundo indicador (la proporción de masas de agua de buena calidad) es muy difícil cuantificarlo en nuestro país de acuerdo con la información de base científica con que se cuenta. Sin embargo, el diagnóstico del Plan Nacional de Agua afirma, siguiendo estudios de 2013, que *"...la mayoría de los diferentes cuerpos de agua se encuentran por encima del límite por el cual se les considera como eutróficos, indicando un deterioro de su calidad. [...] Existe un aumento continuado de la eutrofización en la mayoría de los ecosistemas acuáticos que ya estaban deteriorados, siendo pocos los casos que han sufrido mejoras"* (MVOTMA, 2017). En los últimos 30 años ha aumentado la ocurrencia de floraciones de cianobacterias en diversos cuerpos de agua de todo el país. Kruk *et al*. (2013) hacen una sistematización de información sobre calidad de agua superficial en el país con base en artículos científicos e informes técnicos entre 2007 y 2011; de los 151 casos estudiados por diversos organismos y centros de investigación, 70% se clasificaba como eutrófico y 40% presentó en el momento de su estudio altas biomasas o floraciones nocivas de fitoplancton.

La discusión en el país en torno a la calidad de las aguas superficiales y subterráneas apunta, por un lado, a la interpretación de los datos existentes –más optimista por parte de los organismos públicos centrales y menos optimista por parte de investigadores de las ciencias naturales– y, por otro, al marco normativo existente como por ejemplo el Decreto 253/79 que clasifica las fuentes y ríos de acuer-

do con su uso prioritario (consumo humano, recreación, navegación, etcétera) cuando los nuevos paradigmas buscan superar las visiones sectoriales que dicha clasificación reproduce (Deci Agua, 2017).

5.3 Gestión integrada de recursos hídricos y cooperación transfronteriza

Hoy existen algunos antecedentes incipientes de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) a nivel de cuencas, donde se ubican tomas de agua para potabilización en las regiones más pobladas del país y donde la calidad del agua bruta es la principal motivación para avanzar en nuevas formas de gestión de las aguas: cuenca del río Santa Lucía (desde 2013), cuenca de la Laguna del Sauce (desde 2010), cuenca de la Laguna del Cisne (2016). Por otra parte, en el marco del Programa Cuenca del Plata, con un proceso de características distintas, marcado por su carácter transfronterizo, se avanzó en el plan piloto para la gestión integrada de la Cuenca del río Cuareim-Quaraí que comparten Uruguay y Brasil.

En cuanto a la cooperación transfronteriza, Uruguay está comprometido en varios acuerdos con respecto a sus aguas transfronterizas que contemplan la calidad de las aguas. Con la República Argentina resaltan: la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU), la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTMSG), la Comisión Administradora del Río de la Plata (CARP) y la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CTMFM). Todas ellas tienen alguna función vinculada a la protección de las aguas de sus respectivos ámbitos de actuación. A partir del conflicto internacional por la instalación de una planta de producción de celulosa en las cercanías de la ciudad de Fray Bentos, ubicada sobre el río Uruguay y comunicada con su par Gualeguaychú mediante un puente, se ha instrumentado el monitoreo conjunto de las aguas del río Uruguay y algunos de sus afluentes en el área de influencia de la fábrica, siguiendo el dictamen de la Corte Internacional de Justicia de La Haya en 2010.

En la zona de Salto y Concordia funciona la Comisión Binacional Salto/Concordia del Acuífero Guaraní. El antecedente de esta comisión *ad-hoc* se encuentra en el Plan Piloto Salto/Concordia del Proyecto para la preservación y desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní (Proyecto SAG entre 2003 y 2009), financiado por los cuatro países con territorios sobre el SAG: Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay, y el Fondo Mundial para el medio Ambiente (GEF), con la implementación de la OEA. La importancia de este tipo de cooperación internacional para aguas subterráneas adquiere mayor relevancia en el presente, pues de acuerdo con analistas internacionales, la reciente aprobación por parte del Senado de Brasil del denominado Acuerdo Guaraní para una gestión internacional preventiva del Acuífero Guaraní, abre una real posibilidad de que dicho Acuerdo entre en vigor, lo que pondría a estos cuatro países que comparten este bien natural en la vanguardia a nivel mundial en materia de gestión de aguas transfronterizas y *"tendrán a su alcance el cumplimiento de la meta 6.5 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6.5."* (Hirata *et al*., 2017).

Hacia la frontera con Brasil resalta el proceso de cooperación de las aguas y territorios transfronterizos de la Laguna Merín, con la creación en la década de los 60 de la Comisión Técnico-Mixta de la Laguna Merín, que fuera relanzada hacia 2010 con miras a potenciar la hidrovía.

5.4 Proteger y restablecer ecosistemas acuáticos

Todos los cursos de agua –superficiales y subterráneos– tienen algún grado de protección en la legislación ambiental del país. Aquellas aguas que forman parte de áreas protegidas definidas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas son especialmente contempladas, al igual que sucede en el caso de áreas protegidas departamentales.

Pocos casos existen de restauración de ecosistemas acuáticos, quizá porque la legislación ambiental nacional priorizó la previsión y la prevención de los daños ambientales. Los planes ya mencionados en Laguna del Sauce, Laguna del Cisne y río Santa Lucía se orientan ahora también a la restauración. En este último caso se viene desarrollando un Plan de Restauración de Ecosistemas en la Cuenca del Santa Lucía, iniciado en junio de 2016, cuya primera tarea con base en trabajo voluntario ha sido la reforestación con especies nativas.

En Montevideo y en otras ciudades del interior existen algunos ejemplos de recuperación de la calidad de arroyos y sus márgenes. Tal es el caso del Plan Especial del Arroyo Miguelete y otros pequeños afluentes (Montevideo); el Plan de Saneamiento de Ciudad de la Costa, en Canelones, que promueve la mejora de la calidad de las playas de la franja

costera; el Plan de Recuperación del arroyo Cuñapirú, en la ciudad de Rivera, con la constitución de un parque lineal que mitigue inundaciones y la consolidación de un Parque de protección costera de San Gregorio de Polanco, en el Departamento de Tacuarembó (MVOTMA, 2016). Se suman iniciativas ciudadanas puntuales de mejoramiento de las márgenes de arroyos como el Colorado, en las inmediaciones de la localidad de Sauce.

5.5 Cooperación para el desarrollo en materia de agua y saneamiento

La cooperación internacional en Uruguay ha disminuido su importancia financiera en la medida que el país figura como país de renta alta en las estadísticas y foros mundiales. De acuerdo con el último informe disponible de la AUCI (2015) con datos a 2014, el sector Agua recibía alrededor de 6% de toda la cooperación internacional tradicional, sumando alrededor de 9 millones de dólares, la gran mayoría proveniente de un fondo español para agua y saneamiento –administrado por el BID– que se volcó en el Programa de abastecimiento de agua potable a pequeñas comunidades rurales (2010-2016), donde actuaban como contrapartes la OSE, la Administración Nacional de Educación Pública (ANEP) y el MGAP. En esta meta del ODS 6 hay un gran potencial de desarrollo, donde Uruguay debe asociarse con otros países y organismos para contribuir y recibir apoyo financiero y técnico en el sector agua y saneamiento (6.a).

5.6 Participación ciudadana

Ciertamente, la participación ciudadana ha sido un principio de la política nacional de agua desde la reforma constitucional en 2004 y la creación inmediata de la DINASA (luego DINAGUA) como autoridad nacional en la materia de planificación y desarrollo de políticas públicas. Para ello existe el programa liderado por DINAGUA-MVOTMA para la creación y funcionamiento de tres consejos regionales de cuenca (Río Uruguay, Laguna Merín y Río de la Plata y frente marítimo) y, hasta el momento, nueve comisiones de cuenca. En dichos ámbitos, que cuentan con representantes del Gobierno, los usuarios y la sociedad civil organizada, la meta es avanzar hacia planes de gestión integrada de cuenca; hasta el momento han funcionado más como espacios para la denuncia y pedido de información acerca de la calidad de las aguas. De acuerdo con la Ley de Aguas se debería haber conformado un Comité Nacional de Agua, Territorio y Medio Ambiente para la articulación de los planes de cuenca que tanto los consejos como comisiones deberán elaborar.

Por otro lado, iniciativas puntuales, y en general fragmentadas, para la mejora de la calidad de las aguas y el tratamiento de efluentes domésticos por parte de ONG y grupos de ciudadanos a nivel local, se encuentran por todo el país; el Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD es un buen muestrario de esto.

La participación colectiva e individual para la observación ambiental es fomentada por la DINAMA-MVOTMA a partir de la instalación de un sistema de recepción de denuncias ambientales en línea. Entre los 14 motivos que el sistema presenta para originar la denuncia se encuentra "contaminación de cuerpos de agua" y "vertido de efluentes", además de otros ítems que se podrían vincular indirectamente con calidad de aguas (*ie.* residuos, envases de plaguicidas, etcétera).

El colectivo Asamblea por el Agua del río Santa Lucía, participante de la Comisión de Cuenca del Río Santa Lucía presentó evidencia científica de contaminación de una cañada en la localidad a partir de lo que llaman "laboratorio popular", iniciando un expediente de control sobre vertidos industriales por parte de la DINAMA y la Intendencia de Canelones. La modalidad de análisis de calidad del agua con fines de denuncia, independiente técnicamente de los organismos estatales, es novedosa en el país y responde, según sus promotores, a la lentitud e inacción por parte de los laboratorios encargados de estas tareas de inspección.

En resumen, al momento de escribir este capítulo y en vista de los compromisos asumidos por Uruguay para la realización de los ODS a 2030, se puede afirmar que las metas del ODS 6 que precisan de mayor atención son el derecho de acceso al saneamiento digno en contextos urbanos, la mejora de la calidad de agua promoviendo el tratamiento de aguas servidas en el sector residencial e industrial, así como la evitación de contaminación de las aguas superficiales por actividades agropecuarias, realizar biorremediación en arroyos y cañadas urbanos, y avanzar en la puesta en marcha de planes de GIRH a nivel de cuenca, comenzando con aquellas que proveen de agua para consumo humano.

6. Conclusiones y desafíos para la calidad de agua en Uruguay

En nuestro país se solía oír: *"En Uruguay el agua no es un problema".* Esta percepción tradicional, generalizada en la población mayoritariamente urbana, acerca de la abundancia del recurso en cantidad y calidad puede deberse, al menos en parte, a que el país logró tempranamente altos niveles de cobertura urbana tanto de abastecimiento de agua potable como de saneamiento. Entonces, la consideración de la calidad de los recursos hídricos ha sido un tema relativamente relegado tanto por la opinión pública como por las instituciones de gobierno. Esto redundó en pocas y muy recientes acciones tendentes a la protección de los recursos hídricos que acompasaran, por ejemplo, el rápido crecimiento de las actividades productivas que han supuesto un riesgo y amenaza a la sostenibilidad del recurso.

Esta percepción que no problematiza el agua ha comenzado a cambiar rápidamente en la última década, particularmente en lo concerniente a la calidad del agua. Si bien la situación no es homogénea espacialmente (en general, los problemas son más acuciantes en la mitad Sur del territorio y la zona litoral debido a la intensidad de usos del suelo y la mayor densidad de población), es posible afirmar que la mayoría de los cuerpos de agua superficiales no cumplen con los estándares vigentes en varios parámetros clave. El caso particular del contenido de fósforo en los ríos y embalses es tal vez el más paradigmático, y de alguna forma fue el que disparó la atención pública sobre la pérdida de calidad de los recursos acuáticos. Se ha entendido, paulatinamente, que la presencia en exceso de fósforo en los cuerpos de agua usados para consumo humano es el factor clave que explica la ocurrencia de floraciones de cianobacterias (tóxicas en muchos casos), causa a su vez de los crecientes compromisos para la potabilización. La mayor comprensión por parte de muchos sectores sociales surgió a partir de la aparición repentina de eventos relacionados con la turbidez y palatabilidad del agua potable en los años 2013 y 2015. Las causas de tal afectación del agua potable no aparecieron bruscamente, sino que son la resultante de un desarrollo gradual multicausal, pero que se vio acelerado por el "boom" de la agricultura en los últimos 15 años. Aunque no se han acumulado suficientes pruebas, es creciente la información disponible que vincula la presencia de toxinas con efectos en la salud humana. En este sentido sigue siendo un desafío mayor modificar la comprensión social de los vínculos e interdependencia entre salud humana y salud ecosistémica (Carr y Neary, 2006).

Así, la eutrofización ha pasado de ser un tema reducido exclusivamente a discusiones técnicas o académicas, a ser un problema de relativo conocimiento público. Este cambio de percepción refleja la realidad de Uruguay, dado que los síntomas de la eutrofización pueden ser hoy constatados en buena parte de los ecosistemas acuáticos del país, aunque con diverso grado de evolución. La construcción de embalses y tajamares impone otro desafío como consecuencia de la posible proliferación de inóculos de cianobacterias desde estos cuerpos de agua. Está claro que la eutrofización como problemática principal se explica fundamentalmente por el carácter básicamente agropecuario del país. No obstante, los problemas no se limitan exclusivamente a la eutrofización, y crecientemente se cuenta con información sobre otras problemáticas que pueden estar vinculadas además al desarrollo agroindustrial y urbano. Pueden destacarse casos localizados de presencia de metales pesados, particularmente importante en zonas de actividad industrial, o de virus en cuerpos de agua cercanos a conglomerados urbanos. Son destacables también otras temáticas sobre las que no existen aún datos concluyentes, como por ejemplo la presencia de agrotóxicos en la biota y la matriz física de los ecosistemas.

El estado de los ecosistemas acuáticos depende fundamentalmente de los usos del suelo que caracterizan a sus cuencas de drenaje. En este sentido, es esperable que de acuerdo con las tendencias de desarrollo productivo agroindustrial, a corto plazo, el deterioro progresivo de los recursos hídricos no pueda ser revertido. Poder estimar el impacto a mediano plazo de las políticas y desarrollo económico implica, en primer lugar, contar con una cabal caracterización de la situación actual de los ambientes. En Uruguay, el monitoreo sobre la calidad de las aguas superficiales es aún limitado e insuficiente, más allá de esfuerzos desde el Gobierno y la academia. Algunas iniciativas recientes de mejorar el monitoreo sistemático, como en el río Negro y en el río Santa Lucía, así como la inclusión de parámetros no-tradicionales en los muestreos (indicadores

biológicos, pesticidas en matrices biológicas, etcétera), no dejan de ser intenciones reactivas a problemáticas emergentes, más que una planificación estratégica. Lo primero ocurrió en el río Negro frente a la potencial instalación de plantas de producción de pasta de celulosa a partir de 2009; la planificación estratégica sería el caso del monitoreo en lagunas de la costa atlántica. Es destacable que en la gestión del río Santa Lucía se están generando herramientas mediante instrumentos legales y programas sectoriales –apoyo económico del MGAP a productores para asesoramiento técnico, obras hidráulicas y acciones de protección de cuerpos de agua– que tienen por objetivo específico la disminución de los aportes de nutrientes. Si bien esta iniciativa constituye un caso de gestión de cuenca hidrográfica inédito en Uruguay, aún carece de herramientas contundentes y, en algunos casos, de conocimientos empíricos que los respalden.

Frente a la necesidad de contar con una caracterización de la situación actual de los ambientes, a modo de línea de base, se crea por parte de la DINAMA la Mesa Técnica del Agua, en la cual participan técnicos de diferentes instituciones estatales y públicas (ministerios, Udelar, INIA, LATU, entre otros), cuyo objetivo es compartir información propia y conocimientos, discutir y generar acuerdos en cuanto a diferentes temas científico-técnicos relacionados con los recursos hídricos, para asesorar a los tomadores de decisión. Los primeros informes son del año 2017, donde se expresa que para apoyar el monitoreo de calidad de agua, y la toma de decisiones, se debe apostar al monitoreo conjunto de cantidad y calidad, y al empleo de tecnologías de adquisición y transmisión automática de información, así como de sensores remotos. Estas tecnologías cobran mayor sentido cuando los márgenes de error en la apreciación de la información se acortan, lo que a menudo sucede cuando la calidad de los recursos hídricos se ve afectada o frente a la mayor probabilidad de sufrir eventos climáticos extremos relacionados con la variabilidad y el cambio climático.

6.1 Modelo de desarrollo y ecosistemas acuáticos

Debido a la importancia de la producción agropecuaria para la economía del país, es un anhelo para el Gobierno y otros actores políticos y sociales aumentar el nivel de esta actividad. Por otro lado, se pretende alcanzar los ODS, lo cual requiere de políticas públicas que tengan por objeto la conservación de los recursos naturales, entre otros. La tensión entre producción y conservación está reconocida en el desarrollado marco legal ambiental del país; el desafío para una adecuada protección del ambiente radica, entonces, en la implementación de las normas frente al avance acelerado de actividades productivas que se basan en el uso intensivo de los recursos naturales.

Uno de los mayores desafíos ambientales por el que atraviesa Uruguay es conciliar el aumento de la producción y la productividad agropecuaria con la conservación de los ecosistemas. La respuesta del Gobierno se expresa en el deseo de lograr un "aumento de la productividad de forma ambientalmente sostenible". Sin embargo, hoy, más allá de la retórica, la experiencia indica que es muy difícil conseguir un aumento en la productividad sin afectar los cursos de agua, en vista de que el sistema agropecuario –incluso con las mejores prácticas implementadas– se basa en el aumento del empleo de fertilizantes y agroquímicos, parte de los cuales acaba escurriéndose hacia los cursos de agua.

Hoy día existe un sesgo que prioriza la dimensión económica del desarrollo sostenible, lo cual causa deterioros en el ambiente (externalidades no contabilizadas), así como conflictos en la sociedad manifestados en la desterritorialización de la producción rural familiar, la pérdida de oficios, afectaciones a la salud, entre otros. En vista de que el idioma de la economía es dominante en la toma de decisiones, parece imperioso avanzar en la cuantificación del beneficio de las actividades que hacen uso de los recursos naturales y el costo de la afectación ambiental. Por ejemplo, se debería hacer efectivo un sistema de cuentas ambientales para internalizar los costos de depreciación del ambiente en las cuentas nacionales económicas. En ese sentido, la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA) del MGAP y la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) han realizado esfuerzos tendentes a promover la implementación de un sistema de este tipo, para ser integrado al sistema de cuentas nacionales que lleva adelante el Banco Central, meta que es recogida a su vez en los primeros borradores del Plan Ambiental Nacional que se encuentra en etapa de

estudio en el Gabinete Ambiental Nacional. Entonces, el desafío es doble. Por un lado, mejorar los sistemas de contabilidad y, por otro, muy importante, decidir quiénes pagarían los costos financieros de una transición hacia sistemas productivos coherentes con la noción de desarrollo sostenible.

Por todo lo anterior, es claro que se debe generar un proceso amplio y democrático de discusión con buenas fuentes de información provenientes de las ciencias ambientales, económicas, de la salud y sociales, donde la sociedad en su conjunto pueda definir el camino y las estrategias de desarrollo del país de cara al futuro.

6.2 Marco legal e institucionalidad participativa

Es relativamente tardía la incorporación al marco legal nacional de la protección del medio ambiente en general, con la ley de Evaluación de Impacto Ambiental en 1994, y de los recursos hídricos en particular, a partir de la reforma constitucional de 2004, y la Ley 18610 del año 2009. Esta última establece los principios rectores de la Política Nacional de Aguas mediante *"el reconocimiento de la cuenca hidrográfica como unidad de actuación para la planificación, control y gestión de los recursos hídricos".*

El control sobre los vertidos puntuales –fundamentalmente de origen industrial– más allá de que pueda requerir una modernización, cuenta con un marco regulatorio claro y de larga data (la ley nacional en la materia es de 1979, además de las normas departamentales). En contraste, el control de contaminantes aportados desde fuentes difusas –específicamente la agricultura y ganadería– es más incipiente y aún carece de un marco regulatorio adecuado. La obligatoriedad de presentar a partir de 2015 planes de uso y manejo del suelo (Decreto Nº 405/2008) para prevenir la erosión hídrica es también un avance importante para el control de las fuentes difusas de contaminación del agua. Dicha norma constituye la primera cuantificación basada en el conocimiento científico y la modelación matemática de la relación entre uso del suelo y efectos sobre los recursos naturales, que ha sido incorporada a la normativa en nuestro país y llevada adelante como política de Estado. Con ese marco se da, en 2013, la primera experiencia uruguaya en un Plan de Acción del Río Santa Lucía (MVOTMA, 2015). Sin embargo, aún resta la elaboración de instrumentos similares específicos de alcance nacional para lograr disminuir el aporte difuso de contaminantes y, en particular, de nitrógeno y fósforo a los cursos de agua.

Se plantean entonces dos aspectos desafiantes: por un lado, continuar con el desarrollo del marco jurídico y normativo que permita establecer mejores criterios de control de las actividades productivas, ineludible para la preservación de la calidad del recurso hídrico; por otro, la necesidad del desarrollo científico y la innovación técnica indispensables tanto para conocer y cuantificar los efectos de dichas actividades como para aplicar las medidas necesarias para su minimización y mitigación. La apuesta mayor parece ser lograr el desarrollo conjunto y equilibrado entre ambos aspectos, ya que una normativa ajustada a las condiciones locales –que sólo la buena ciencia puede investigar– y controles eficaces, son fundamentales en un esquema de aumento de la productividad, escenario que parece ineludible en la realidad económica y social de Uruguay.

En cuanto a la participación ciudadana, en el contexto regional y hasta mundial, Uruguay se caracteriza por la posibilidad del debate público sobre la cuestión ambiental y del agua. En particular, a partir del plebiscito de 2004 que llevó a una reforma constitucional ya mencionada, los aspectos técnicos de la gestión del agua se socializaron y politizaron. De allí surge la propuesta de creación de espacios institucionalizados de información, consulta, discusión y asesoramiento a las autoridades gubernamentales, como son la Comisión Asesora en Agua y Saneamientos (COASAS), cercana a la DINAGUA-MVOTMA, y los Consejos y Comisiones de Cuenca, promovidos desde la Política Nacional de Agua. No obstante, estos nuevos espacios se superponen con otras instancias de participación más o menos autónomas, no delimitadas metodológicamente por las cuencas hidrográficas. Esta nueva construcción institucional por el agua entra en tensión con la institucionalidad convencional de representación político-partidaria a nivel nacional, departamental y municipal. También existen espacios de participación a partir de políticas públicas sectoriales, como las mesas de desarrollo rural organizadas desde el MGAP o las mesas departamentales del MIDES. El desafío es cómo contrarrestar la atomización de la participación y la descoordinación entre

niveles de gobernanza, y cómo alcanzar niveles de eficacia en la combinación de democracias directa y representativa que redunden en acciones de protección de la calidad de agua en tiempos y espacios coherentes.

Las realidades y desafíos mencionados en torno a la calidad de las aguas en Uruguay han llevado a transformaciones graduales, pero profundas, en el imaginario colectivo acerca de los vínculos estrechos entre el medio urbano y el medio rural. La cultura del agua hegemónica en el país durante el siglo XX, fuertemente anclada en la experiencia urbana, que domesticó e invisibilizó la problemática del agua, se enfrenta en el presente y en el futuro cercano a transitar por una mirada más integral acerca del ciclo socio-hidrológico del agua que trasciende las fronteras de los centros poblados y de los predios agropecuarios e, incluso, los propios límites administrativos nacionales e internacionales. Quizá en un futuro no tan lejano será insuficiente e incluso desfavorable escribir sobre calidad de agua restringiéndose a contextos nacionales.

7. Referencias bibliográficas

Achkar M, Domínguez A, Pesce F. (2012). *Cuenca del Río Santa Lucía - Uruguay. Aportes para la discusión ciudadana.* Montevideo: REDES Amigos de la Tierra. 23 pp.

Agencia Uruguaya de Cooperación Internacional (AUCI) (2015). *Estado de situación de la cooperación internacional en Uruguay.* Montevideo: Presidencia de la República. Recuperado de: www.auci.gub.uy/images/pdf/Estado%20de%20situacin%202015_web.pdf

Alberti A. (2012). *Detección molecular y diversidad genética de norovirus en pacientes y en aguas residuales del Uruguay.* Tesis de Maestría (PEDECIBA). Universidad de la República (UdelaR). Montevideo.

Amorín C, Larghero S. (2017). *Informe de situación de las medidas que se están implementando para el aseguramiento de la potabilización del agua del sistema de abastecimiento de Montevideo y Laguna del Sauce.* Montevideo: Estudio Ingeniería Ambiental. 85 pp.

Arocena R, Chalar G, Fabián D, de León L, Brugnoli E, Silva M, Rodó E, Machado I, Pacheco JP, Castiglioni R and Gabito L. (2008). *Evaluación Ecológica de Cursos de Agua y Biomonitoreo.* Informe. Montevideo: DINAMA-Facultad de Ciencias, 122 pp. Recuperado de: http://limno.fcien.edu.uy

Arocena R, Chalar G, Perdomo C, Fabián D, Pacheco JP, González M, Olivero V, Silva M and Etchebarne V. (2013). Impacto de la producción lechera en la calidad de los cuerpos de agua. *Augmdomus* 5:42-63.

Banco Mundial (2011). *Montevideo Landfill Gas Recovery Project.* Uruguay. Recuperado de: http://documentos.bancomundial.org/curated/es/225461468317122489/pdf/E28940UG0SP0Montevideo0landfill.pdf

Banco Mundial (2018). *El Banco Mundial en Uruguay. Informe 2016.* Recuperado de: http://www.bancomundial.org/es/country/uruguay/overview

Bartram J, Corrales L, Davison A, Deere D, Drury D, Gordon B, Howard G, Rinehold A, Stevens M. (2009). *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: método pormenorizado de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo.* Ginebra: OMS.

Batthyány K. (2009). Autonomía de las mujeres y resistencias a la división sexual del trabajo al interior de las familias. En *Seminario Regional: Las familias latinoamericanas. Hacia la articulación del diagnóstico, legislación y políticas.* Santiago de Chile: CEPAL.

Bonilla S. (2009). *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay; Manual para la identificación y medidas de gestión.* Montevideo: UNESCO, S. Bonilla.

Bonilla S, Haakonsson S, Somma A, Gravier A, Britos A, Vidal L, De León L, Brena B, Pírez M, Piccini C, Martínez de la Escalera G, Chalar G, González-Piana M, Martigani M, Aubriot L. (2015). Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. *INNOTEC* 10:9–22.

Carr GM, Neary JP. (2016). *Water Quality for Ecosystem and Human Health.* United Nations Environment Programme Global Environment

Monitoring System / Water Programme. Burlington. 132 pp.

Carrasco-Letelier L, Eguren G, Teixeira de Mello F, P Groves (2006). Preliminary field study of hepatic porphyrin profiles of *Astyanax fasciatus* (*Teleostei, Characiformes*) to define anthropogenic pollution. *Chemosphere* 62:1245–1252.

Chalar G. (2006). Dinámica de la eutrofización a diferentes escalas temporales: Embalse Salto Grande (Argentina-Uruguay). En: JG Tundisi, T Tundisi-Matsumura, T Sidagis, C Gall (eds.) *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle.* Instituto Internacional de Ecología, Instituto Internacional de Ecología e Gerenciamento Ambiental, Academia Brasileira de Ciências, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, InterAcademy Panel on International Issues, InterAmerican Network of Academies of Sciences, pp. 87-101.

Chalar G, Arocena R, Pacheco JPand Fabián D. (2011). Trophic assesment of streams in Uruguay: A Trophic State Index for Benthic Invertebrates (TSI-BI). *Ecological Indicators* 11:362-369.

Chalar G, De León L, Brugnoli E, Clemente J, Paradiso M. (2002). Antecedentes y nuevos aportes al conocimiento de la estructura y dinámica del Embalse Salto Grande. En: Fernández-Cirelli A. y Chalar G. [eds.]. *El agua en Sudamérica: de la Limnología a la Gestión en Sudamérica.* Buenos Aires: CYTED. pp. 123-142.

Chalar G, Gerhard M, González-Piana M, Fabián D. (2014). Hidroquímica y eutrofización en tres embalses subtropicales en cadena. En: Marcovecchio JE, Botté SE and Freije RH. [eds.]. *Procesos geoquímicos superficiales en Sudamérica.* Salamanca: Nueva Graficesa, pp. 121-148.

Colombo JC, Pelletier X, Brochu Ch, Khalil M, Catoggio JA. (1989). Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution index. Case study: Rio de la Plata Estuary, Argentina. *Environmental Science and Technology* 23:888–894.

Commendatore MG, Nievas ML, Amin O, Esteves JL (2012). Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in coastal sediments from Ushuaia Bay (Tierra del Fuego, Patagonia, Argentina). *Marine Environmental Research* 74:20–31.

Conde D, Pintos W, Gorga J, de León R, Chalar G. and Sommaruga R. (1996). The main forces inducing chemical spatial heterogenity in Salto Grande, a reservoir on the Uruguay River. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 1:571-578.

De León L, Yunes J. (2001). First report of a Microcystis aeruginosa toxic bloom in La Plata River. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 16:110–112.

Deci Agua (2017). *Síntesis de aportes a la propuesta de Plan Nacional de Aguas (PNA).* Montevideo (mimeo). Recuperado de: www.deciagua.edu.uy

Delgado E. (2018). *Informe final Proyecto CSIC I+D "Participacion social en la conservación del patrimonio natural de Humedal del Arroyo Maldonado".* Comisión Sectorial de Investigación Científica (UDELAR).

Dirección de Estadísticas Agropecuarias (MGAP-DIEA) (2015). *Anuario estadístico agropecuario.* Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo. Recuperado de: http://www2.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-anuario-2015,0,es,0.

Eguren G, Cabrera J, G Silva (2013). *Impactos del uso y manejo del cultivo de arroz sobre la integridad de los cursos de agua superficial en base a atributos de las comunidades de peces.* Informe final Proyecto ANII Nº PE FSA 1 1630.

Emerson R, Fretz R, Shaw L. (2011). *Writing Ethnographic Fieldnotes.* The University of Chicago Press Books.

Ernst F, B Alonso, M Colazzo, L Pareja, V Cesio, A Pereira, A Márquez, E Errico, A Segura, H Heinzen, A Pérez-Parada (2018). Occurrence of pesticide residues in fish from south American rainfed agroecosystems. *Science of the total environment* 631–632:169-179.

Evia V. (2018). Salud ambiental y antropología médica crítica. Aportes desde una investigación sobre exposición a plaguicidas agrícolas en Uruguay. *Ichan Tecolotl*. México: CIESAS/CONACYT. Recuperado de: http://ichan.ciesas.edu.mx/category/puntos-de-encuentro

Ferrari G, Pérez MC, Dabezies M Míguez D., Saizar C. (2011). Planktic Cyanobacteria in the Lower Uruguay River, South America. *Fottea* 11:225–234.

Font E. (2016). *Cianotoxinas en abrevaderos: peligrosidad y efectos negativos para el ganado.* Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo. 87 pp.

García-Rodríguez F, Hutton M, Brugnoli E, Venturini N, Del Puerto L, Inda H, Bracco R, Burone L, Muniz P. (2010). Assessing the effect of natural variability and human impacts on the environmental quality of a coastal metropolitan area (Montevideo, Uruguay). *Pan-American Journal of AquaticSciences* 5:91-100.

Gillman L. (2016). *Virus entéricos en aguas de uso recreacional en un contexto de escasa cobertura de saneamiento en Barros Blancos, Canelones, Uruguay.* Tesis de Maestría (PEDECIBA). UdelaR. Montevideo.

González-Piana M, Fabian D, Delbene L, Chalar G. (2011). Toxics blooms of Microcystis aeruginosa in three Rio Negro reservoirs, Uruguay. *Harmful Algae News* 43:16-17.

Hammersley M, Atkinson P. (2014). *Etnografía. Métodos de investigación.* Barcelona: Paidós.

Haro JA. (2000). Cuidados profanos: una dimensión ambigua en salud. En: Perdiguero, E y Comelles, JM (eds.) *Medicina y cultura. Estudios entre la antropología y la medicina.* Barcelona: Ediciones Bellaterra.

Hirata R, Sindico, F, Manganelli A. (2017) *El valor de la entrada en vigor del Acuerdo sobre el Sistema Acuífero Guaraní.* Policy Briefing Nº8, April 2017. Glasgow: University of Strathclyde.

Hutton M, Venturini N, García-Rodríguez F, Brugnoli E, Muniz P. (2015). Assessing the ecological quality status of a temperate urban estuary by means of benthic biotic indices. *Marine Pollution Bulletin* 91:441-453.

Instituto Nacional de Estadística (INE) (2015). *Censo 2011.* República Oriental del Uruguay: INE. Procesamiento censal en línea. Redatam. Disponible en: www.ine.gub.uy

Intendencia de Montevideo (2009). *Programa de Monitoreo de Agua de Playas y Costa de Montevideo. Informe 2008–2009.* Disponible en: http://www.montevideo.gub.uy/playas/evaluacion-de-la-calidad-del-agua-en-las-playas

Intendencia de Montevideo (2018a). Disponible en: http://www.montevideo.gub.uy/playas/evaluacion-d e-la-calidad-del-agua-en-las-playas

Intendencia de Montevideo (2018b). Disponible en: http://www.montevideo.gub.uy/calidad-de-agua/indice-de-calidad-de-agua

Intendencia de Montevideo (2018c). Disponible en: http://www.montevideo.gub.uy/calidad-de-agua/documentos-cursos-de-agua

Intendencia de Montevideo (2018d). Disponible en: http://www.montevideo.gub.uy/plan-de-saneamiento-urbano-iv

Intendencia de Montevideo (2018e). Disponible en: http://www.montevideo.gub.uy/calidad-de-agua/informes-estudio-de-la-calidad-de-agua-sedimento-y-biota-del-rio-de-la-plata

IPCC (2007). *Climate Change 2007: the physical science basis. A report of working Group 1 of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press.

JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) (2010). *Informe de situación sobre fuentes de contaminación difusa en la cuenca del río Santa Lucía.* Montevideo: MVOTMA. 194 pp.

JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) (2011). *Proyecto sobre el Control de la Contaminación del Agua y la Gestión de la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Santa Lucía. Informe Final del Proyecto.* v.1. Montevideo: MVOTMA.

Kruk C, Segura A, Nogueira L, Carballo C, Martínez de la Escalera G, Calliari D, Ferrari G, Simoens M, Cea J, Alcántara I, Vico P, Miguez D, Piccini C. (2015). Herramientas para el monitoreo y sistema de alerta de floraciones de cianobacterias nocivas: Río Uruguay y Río de la Plata. *INNOTEC* 10:23–39.

Kruk C, Suárez C, Ríos M, Zaldúa N, Martino D. (2013). *Ficha: Análisis Calidad de Agua en Uruguay.* Montevideo: Asesoramiento Ambiental Estratégico/ Vida Silvestre.

Lizasoáin A, Tort LF, García M, Gómez MM, Cristina J, Leite JP, Miagostovich MP, Victoria M, Colina R. (2015). Environmental Assessment of Classical Human Astrovirus in Uruguay. *Food Environ Virol.* 7:142-148.

López J. (2015). *Sistemas de Saneamiento Adecuado en Uruguay.* Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, UdelaR. Montevideo.

Matteo L. (2008). *Análisis de los perfiles de porfirinas de cuatro especies de peces nativas expuestas a descargas urbano-industrial y agrícola (Canelones-Uruguay).* Trabajo final de la Lic. en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, UdelaR, Montevideo.

Mello LC. (2011). *Distribución espacial de metales pesados en la Cuenca del Arroyo Carrasco y su relación con el uso de la cuenca asociada.* Te-

sis de Maestría. Programa Maestría en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo.

Menéndez E. (2009). *De sujetos, saberes y estructuras. Introducción al enfoque relacional en el estudio de la salud colectiva.* Buenos Aires: Lugar Editorial.

Ministerio de Desarrollo Social (MIDES) (2016). *Estadísticas de Género 2015.* Uruguay: MIDES, Instituto Nacional de las Mujeres, Sistema de Información de Género. Recuperado de: http://www.inmujeres.gub.uy/innovaportal/file/15091/1/estadisticas-de-genero-2015.pdf

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) (2009). *Informe del Estado del Ambiente.* Montevideo: MVOTMA/DINAMA.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) (2013). *Programa de Mejoramiento de Barrios: Análisis Ambiental y Social, 2013.* Montevideo: MVOTMA, DINAVI.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) (2015). *Plan de Acción para la protección del agua en la cuenca del Santa Lucía.* Montevideo: MVOTMA. Recuperado de: http://www.mvotma.gub.uy/portal/ambiente-territorio-y-agua/gestiona/instrumentos-de-gestion-ambiental/item/10006604-plan-de-accion-para-la-proteccion-del-agua-en-la-cuenca-del-santa-lucia.html

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) (2016a). *El Sistema Nacional de Áreas Protegidas.* Montevideo: MVOTMA. Recuperado de: http://www.mvotma.gub.uy/portal/snap

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) (2016b). *Manual para la gestión ambiental de tambos.* Montevideo: MVOTMA/DINAMA. Recuperado de: http://www.mvotma.gub.uy/portal/ciudadania/biblioteca/documentos-de-ambiente/item/10008342-manual-para-la-gestion-ambiental-de-tambos.html

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) (2016c). *Hábitat III. Informe nacional de Uruguay.* Montevideo: MVOTMA. Recuperado de: http://www.mvotma.gub.uy/portal/uruguay-hacia-habitat-iii

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) (2017). *Plan Nacional de Agua.* Montevideo: MVOTMA-DINAGUA.

Moss B. (2010). *Ecology of fresh waters: a view for the twenty-first century.* Chichester: John Wiley & Sons.

Muniz P, Venturini N, Gómez-Erache M. (2004). Spatialdistribution of chromium and lead in sedimentsfromcoastalareas of the Río de la Plata estuary (Montevideo, Uruguay). *Brazilian Journal of Biology* 64:103–116.

Muniz P, Venturini N, Hutton M, Kandratavicius N, Pita A, Brugnoli E, Burone L, García-Rodríguez F. (2011). Ecosystem health of Montevideo coastal zone: a multiapproach using some different benthic indicators. *Journal of Sea Research* 65:38-50.

Muniz P, Venturini N, Martins CC, Munshi AB, García-Rodríguez F, Brugnoli E, Lindroth AL, Bícego MC, García-Alonso J. (2015). Integrated assessment of contaminants and monitoring of an urbanized temperate harbor (Montevideo, Uruguay): a 12-year comparison. *Brazilian Journal of Oceanography* 63:311-330.

O'Farrell I, Izaguirre I. (2014). Phytoplankton of the middle and lower stretches of the Uruguay River. En: G Tell and I Izaguirre [eds.]. *Freshwater Phytoplankton of Argentina. Advanc. Limnol.* 65. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart pp, 113-126.

Observatorio Ambiental Nacional (2017). *Indicadores 2016.* Recuperado de: https://www.dinama.gub.uy/oan/?page_id=53

Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP) (2011). *Información de base para el diseño de un plan estratégico de residuos sólidos.* Uruguay. Recuperado de: http://www.mvotma.gub.uy/portal/ambiente-territorio-y-agua/conoce/residuos/item/10002823-informacion-de-base-para-el-diseno-de-un-plan-estrategico-de-residuos-solidos.html

Organización de Estados Americanos (OEA) (1992). *Uruguay - Estudio Ambiental Nacional.* Washington: OPP/OEA/BID.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2009). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La ganadería a examen.* Roma. Recuperado de: http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s00.htm

Oyhantçabal G, Narbondo I. (2014). Radiografía del agronegocio sojero uruguayo. Alternativa. *Revista de Estudios Rurales* 1:1-30.

Pacheco J P, Arocena R, Chalar G, García P, González Piana M, Fabián D, Olivero V. (2012). Evaluación del estado trófico de arroyos de la cuenca de Paso Severino (Florida, Uruguay) mediante la utilización del índice biótico TSI-BI. *Augmdomus* 4:80-91.

Piaggio M. (2013). *Industrial water pollution in Uruguay: Polluting and non-polluting sectors' subsystems through input–output analysis.* Working Papers (201352), Latin American and Caribbean Environmental Economics Program.

Pírez M, Gonzalez-Sapienza G, Sienra D, Ferrari G, Last M. (2013). Limited analytical capacity for cyanotoxins in developing countries may hide serious environmental health problems: Simple and affordable methods may be the answer. *J. Environ. Manage.* 114:63–71.

Pistone G, Eguren G, D Rodriguez-Ithurralde (2012). Inhibition, recovery and field responses of *Astyanax fasciatus* (Cuvier, 1819) brain cholinesterases upon exposure to azinphos-methyl. *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.* 7(2):105-114.

Presidencia de la República (Uruguay) (2014). Recuperado de: https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/dia-mundial-alimentacion-inia-aguerre

Rivas-Rivera N, Eguren G, Carrasco-Letelier L, K Munkittrick (2014). Screening of endocrine disruption activity in sediments from the Uruguay River. *Ecotoxicology* 23(6):1137-1142.

Rodríguez-Gallego L, Achkar M, Defeo O, Vidal L, Meerhoff E, Conde D. (2017). Effects of land use changes on eutrophication indicators in five coastal lagoons of the Southwestern Atlantic Ocean. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 188:116-126.

Salas HJ, Martino P. (1991). A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Wat. Res*. 25:341-350.

Smith VH, Tilman GD, Nekola JC (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environ. Poll.* 100:179-196

Soutullo A, C Clavijo, JA Martínez-Lanfranco (eds.) (2013). *Especies prioritarias para la conservación en Uruguay. Vertebrados, moluscos continentales y plantas vasculares.* Montevideo: SNAP/DINAMA/MVOTMA y DICYT/MEC. 222 pp.

Torres Ruiz R, Pardón Ojeda M. (2009). *Planes de Seguridad del Agua de Consumo Humano en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Transfronterizos.* OPS/OMS, Área de Medio Ambiente y Desarrollo.

Tort LF, Victoria M, Lizasoáin A, García M, Berois M, Cristina J, Leite JP, Gómez MM, Miagostovich MP, Colina R. (2015). Detection of Common, Emerging and Uncommon VP4, and VP7 Human Group A Rotavirus Genotypes from Urban Sewage Samples in Uruguay. *Food Environ Virol.* 7(4):342-53.

Uruguay XXI (2016). Sector Agronegocios. Diciembre 2016. Recuperado de: www.uruguayxxi.gub.uy

Van Vliet MTH, Franssen WHP, Yearsley J R, Ludwig F, Haddeland I, Lettenmaier DP, Kabat P. (2013). Global river discharge and water temperature under climate change. *Glob. Environ. Chang.* 23:450–464.

Venkatesan MI, Kaplan IR. (1990). Sedimentary corpostanol as an index of sewage addition in Santa Monica Basin, Southern California. *Environmental Science and Technology* 24:208–214.

Venturini N, Bícego MC, Taniguchi S, Sasaki S, García-Rodríguez F, Brugnoli E, Muniz P. (2015). A multi-molecular marker assessment of organic pollution in shore sediments from the Río de la Plata Estuary, SW Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 91:461-475.

Victoria M, Tort LF, Lizasoáin A, García M, Castells M, Berois M, Divizia M, Leite JP, Miagostovich MP, Cristina J, Colina R. (2016). Norovirus molecular detection in Uruguayan sewage samples reveals a high genetic diversity and GII.4 variant replacement along time. *J Appl Microbiol.* 120(5):1427-35.

Vidal N. (2007). *Disrupción endócrina en* Cnesterodon decemmaculatus *(Jenyns 1842): Efectos a nivel individual y poblacional (Aº Colorado, Canelones-Uruguay).* Trabajo final de Lic. en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias. Uruguay.

WHO (2011). *Guidelines for drinking water quality.* WHO, 4th ed.

Zhang CM, Xu LM, Xu PC, Wang XC. (2016). Elimination of viruses from domestic wastewater: requirements and technologies. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 32(4):69

Venezuela

En **Venezuela**, se han registrado avances importantes en la cobertura del suministro de agua potable (cerca del 90%) y en la recolección de las aguas servidas (más del 80%), pero un porcentaje menor al 30% de las aguas servidas es tratada... La disponibilidad de recursos hídricos en condiciones adecuadas y cantidades suficientes para satisfacer la demanda creciente de agua son factores claves en el avance hacia el desarrollo sustentable.

Torre-toma en el embalse de Camatagua, Venezuela, © iStock

Calidad de las Aguas en Venezuela

Ernesto José González Rivas, Eduardo Buroz Castillo, Rafael Lairet Centeno, María Virginia Najul, Henry Blanco, Rebeca Sánchez, Jorge Paolini, Ramón Montero, Haymara Álvarez, Simón Astiz, Carlos Espinosa Jiménez, Vecellio Focà, Miguel Ángel Cabeza Díaz, Silvana Vielma Angarita, Lucas Riestra, Antonio Machado-Allison y Pedro R. García Montero

1. Introducción

El deterioro de la calidad de las aguas afecta no solamente a la población que la consume, sino también a toda la trama ecológica asociada (Ochoa Iturbe *et al*., 2015), y se ha estimado que es responsable de un alto índice de muertes por enfermedades de origen hídrico y de la contaminación de muchos cuerpos de agua (Gabaldón, 2015).

En Venezuela se han registrado avances importantes en la cobertura del suministro de agua potable (cerca de 90% de la población) y recolección de las aguas servidas (más de 80%), pero un porcentaje menor a 30% de las aguas servidas es tratada (González *et al*., 2015b), lo que trae como consecuencia la contaminación de los cuerpos de agua, así como la generación de cambios en los parámetros fisicoquímicos, afectando negativamente la calidad. Por todo ello, es necesario aumentar los esfuerzos en la investigación de la calidad de los cuerpos de agua, especialmente aquellos utilizados para el abastecimiento de poblaciones y comunidades (Ochoa Iturbe *et al*., 2015).

En este capítulo se expondrán los aspectos relevantes relacionados con la calidad de las aguas en Venezuela, como son el conocimiento sistemático de la calidad de las aguas, los estudios realizados en las instituciones de investigación, los planes maestros en cuencas de importancia en el país, la institucionalidad en la gestión de la calidad del agua, la salud pública y la ingeniería sanitaria, y el marco jurídico prevaleciente en el país. Todo ello con la finalidad de reunir, de forma resumida, datos provenientes de diferentes fuentes bibliográficas, como punto de partida para estudios más profundos en la materia.

Ernesto José González Rivas ernesto.gonzalez@ciens.ucv.ve Coordinador y editor del capítulo. Universidad Central de Venezuela (UCV), Facultad de Ciencias, Instituto de Biología Experimental. Punto Nacional Focal del Programa de Aguas de IANAS. **Eduardo Buroz Castillo** Editor del capítulo. Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Postgrado de Ingeniería Ambiental. Individuo de Número de la Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat, Sillón XVII. Individuo de Número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Sillón V. **Rafael Lairet Centeno** Editor del capítulo. Universidad Simón Bolívar (USB), Departamento de Estudios Ambientales. **María Virginia Najul, Henry Blanco y Rebeca Sánchez** UCV, Facultad de Ingeniería, Planta Experimental de Tratamiento de Aguas (PETA). **Jorge Paolini** Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Ecología. **Ramón Montero** UCV, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra (ICT). **Haymara Álvarez y Simón Astiz** Universidad Simón Bolívar (USB), Instituto de Recursos Naturales. **Carlos Espinosa Jiménez y Vecellio Focà** Universidad de Los Andes (ULA), Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). **Miguel Ángel Cabeza Díaz** Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). **Silvana Vielma Angarita** ULA, Facultad de Medicina. **Lucas Riestra** Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), Postgrado de Ingeniería Ambiental. Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat. **Antonio Machado-Allison** UCV, Facultad de Ciencias, Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET). Individuo de Número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Sillón III. **Pedro R. García Montero** Consultor ambiental. Miembro del Grupo Orinoco.

2. El conocimiento sistemático de la calidad del agua en Venezuela

Avanzar en el logro de las metas establecidas en el sexto de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS-6), de "garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos" (CEPAL, 2016) implica desarrollar sistemas de gestión integral de los recursos hídricos, alimentados con información confiable y oportuna.

En Venezuela se conoce de esfuerzos realizados por instituciones oficiales, organizaciones no gubernamentales (ONG), universidades y otros centros de investigación relacionados con el tema, en la determinación de la diversidad de parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos e hidráulicos, en aquellas cuencas cuyas aguas son destinadas al abastecimiento humano. Las revisiones de publicaciones en fuentes bibliográficas permiten afirmar que se han realizado estudios de la calidad en diferentes cuerpos de agua, especialmente en aquellos afectados por las actividades humanas, ubicados principalmente en la región centro-norte del país y otros emblemáticos como el lago de Maracaibo y los ríos Orinoco y Caroní, pero muy pocos cumplen con las condiciones que permitan calificarlos como sistemáticos. Por otra parte, la revisión de los sitios de divulgación (portales web) de los entes oficiales encargados de la gestión del agua en el país, lleva a reconocer que en la actualidad no se dispone (al menos no se tiene acceso) de información veraz y actualizada, que permita realizar diagnósticos certeros, detectar variaciones temporales y espaciales, hacer proyecciones y ajustes, para el logro de objetivos en el corto, mediano y largo plazos.

Al no disponer de información detallada a nivel de cuencas, se decidió presentarla a nivel de cinco regiones geográficas: central, occidental, oriental, sur y andina, y de esta manera hacer un análisis regional basado en información publicada o en vías de publicación.

Para cumplir con el objetivo, se resumieron las características relevantes que pudieran servir como indicadoras de calidad del agua para cada región. Entre los cuerpos de agua para consumo humano donde fue posible disponer de información, se encuentran principalmente fuentes de abastecimiento que sirven a entre 20 y 42% de los habitantes de cada región, así como otros cuerpos de agua. La información que se puede utilizar para caracterizar las fuentes de abastecimiento se restringe a las concentraciones de nutrientes y presencia de plancton, y el resto es para la operación de las plantas potabilizadoras (turbiedad, color, pH, alcalinidad, entre otras). No se encontró información sistemática relacionada a contaminantes –como materia orgánica, metales pesados, hidrocarburos, biocidas y microorganismos patógenos–, lo cual representa una limitación para el análisis de la calidad del agua asociada a las actividades antrópicas.

En términos generales, los valores de nitrógeno y fósforo reportados para las fuentes de abastecimiento superan ampliamente las concentraciones máximas consideradas para aguas no contaminadas. En el caso de los datos puntuales reportados para otros cuerpos de agua en cada región, los indicadores de materia orgánica son altos, lo que refleja la intervención antrópica. Es importante señalar que la realización de estos estudios se origina justamente cuando se detectan señales evidentes de contaminación, y no producto del seguimiento, en una gestión integral de recursos hídricos.

Para estimar la calidad de las aguas en el caso de las fuentes de abastecimiento de las principales ciudades del país, que abarcan aproximadamente 25% de la población, se elaboró la **Tabla 1**, que muestra la situación en las regiones central, oriental y occidental, usando la concentración de plancton como parámetro medido (Iglesias *et al*., 2012). La calidad se califica como buena si la concentración de plancton está entre 0 y 1.500 org./mL, regular a mala si está entre 1.501 y 9.000 org./mL y muy mala si los valores sobrepasan los 9.000 org./mL de plancton (Iglesias *et al*., 2012).

En la región central la calidad del agua varía de mala a muy mala, probablemente como consecuencia de que sus altas densidades no permiten tener una diferenciación entre las cuencas productoras y las receptoras, con lo cual se incorporan las aguas residuales domésticas e industriales –con ningún o muy poco tratamiento– a cuerpos de agua que finalmente llegan a las fuentes de abastecimiento.

En la región oriental sólo se dispone de datos en una de las fuentes de abastecimiento, el embalse Turimiquire, que abastece aproximadamente a 25% de la región con densidad poblacional baja y muestra, según la calificación, calidad de agua muy mala.

Tabla 1. Calidad del agua en las principales fuentes de abastecimiento para el consumo humano con base en la concentración de plancton

Año	Región Central							Región Oriental	Región Occidental	
	Pao Cachinche	La Mariposa	Lagartijo	Qda. Seca	Taguaza	La Pereza	Camatagua	Turimiquire	Manuelote	Tule
1998										
1999										
2000										
2001										
2002										
2003										
2004										
2005										
2006		Invadido con Bora								
2007										
2008										
2009										
2010										
2011										

Organismos/mil	0 a 1500	1501 a 9000	>9001
Calidad	Buena	Regular a mala	Muy mala

Fuente: Elaboración propia de M.V. Najul, H. Blanco y R. Sánchez (PETA, UCV) a partir de datos de Iglesias *et al.* (2012).

Tabla 2. Características fisicoquímicas del Río Orinoco en su canal principal y de algunos de sus tributarios

Parámetro	Unidades	Orinoco en			Caroní	Caura	Mapire	Apure
		Musinacio	Ciudad Bolívar	Barrancas	Caruachi	Boca	Morichal	Boca
pH		6,6	6,5	6,8	6,3	6,1	5,8	7,7
CE	µS/cm	38,2	26,5	25,8	8,9	15,6	9,8	190,0
STS	mg/L	110	82	34	10	9	15	353
Ca^{++}		3,67	2,79	2,59	0,57	0,64	0,11	16,20
Mg^{++}		0,91	0,52	0,66	0,16	0,27	0,08	3,00
Na^{+}		1,23	0,90	1,47	0,51	0,88	0,79	4,10
K^{+}		0,74	0,70	0,66	0,46	0,62	0,44	2,20
HCO_3^{-}		14,80	11,00	9,99	3,40	6,40	2,40	61,80
$SO_4^{=}$		4,20	---	2,31	---	1,00	1,10	10,70
Cl^{-}		0,60	0,85	0,86	0,74	0,50	0,90	1,70
COD		3,14	2,87	4,40	5,87	4,16	2,33	6,20
COP		---	1,68	1,40	0,60	1,09	---	4,10
$Si\text{-}SiO_2$		2,60	3,09	3,01	2,30	2,30	5,30	5,30

CE= conductividad eléctrica; STS= sólidos totales suspendidos; COD = carbono orgánico disuelto; COP= carbono orgánico en partículas.
Fuente: Elaboración propia de J. Paolini (IVIC) a partir de datos de Saunders & Lewis, 1988; Lewis & Saunders, 1989; Paolini *et al.*, 1987; Depetris & Paolini, 1991.

En la región occidental, cuya densidad poblacional es similar a la de la región oriental (en el orden de 40 habitantes/km^2), la información de las principales fuentes de abastecimiento del estado Zulia, que abastecen aproximadamente a 20% de la región, se califica la calidad de agua como buena tendiendo a regular.

Este análisis confirma que el conocimiento sistemático de la calidad del agua, como indicativo de contaminación, debe estar asociado a la identificación de las condiciones de la cuenca, tales como ocupación del territorio, actividades antrópicas y vocación de los suelos, para que la información sea representativa.

3. Las investigaciones nacionales en calidad del agua

En esta sección se presentan en forma resumida las investigaciones realizadas en el país sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

3.1 Ríos

Venezuela posee una gran cantidad de ríos y, en lo que se refiere a caudal y calidad, lo hace ser un país productor de agua. En el territorio se pueden distinguir tres grandes vertientes: la Atlántica constituida por las cuencas de los ríos Orinoco y Cuyuní, la Amazónica con el Río Negro y la Caribe que incluye el lago de Maracaibo y los ríos que drenan la Cordillera de La Costa.

3.1.1 La Cuenca del Río Orinoco-Generalidades

La cuenca del Orinoco se ubica al norte de Suramérica, entre los 59°30´ y 74°50´ longitud oeste y 1°00´ y 10°10´ latitud norte. Se extiende por una superficie cercana a 1.100.000 km^2 compartidos por Venezuela (74%) y Colombia (26%). El Río Orinoco nace en el extremo sur-oriental del estado Amazonas venezolano, en el cerro Delgado Chalbaud, aproximadamente a 2°19´ latitud norte y 63°21´ longitud oeste, con un recorrido de unos 2.150 km, el tercero a nivel mundial en caudal con 36.000 m^3/s y el quinto en transporte de sedimentos que alcanza unos 150 millones de t/año (Vila, 1960). El Río Orinoco tiene un hidrograma unimodal, con niveles mínimos durante los meses de febrero-marzo y máximos a mediados de la segunda quincena de agosto y la primera de septiembre. Esta cuenca es rica en recursos naturales, minerales y renovables que incluyen bosques y sabanas, pesquerías dulceacuícolas, gran biodiversidad, tierras agrícolas y de pastoreo. La importancia de la cuenca del Orinoco es más relevante considerando que América del Sur posee el más grande reservorio de agua dulce del mundo y que, por ejemplo, su pesquería y la explotación de la fauna silvestre acuática se considera como de importancia global (Barletta *et al.,* 2010; Lasso *et al.,* 2014b).

En Venezuela han sido desarrollados estudios de los ecosistemas acuáticos, su uso y conservación en la cuenca del Orinoco, sus estrategias de manejo, por las universidades e institutos de investigación, fundaciones privadas y centros de investigación internacionales (Machado-Allison *et al.*, 2010).

3.1.2 Calidad de las aguas

Los primeros estudios fisicoquímicos del Río Orinoco y sus afluentes fueron realizados por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y posteriormente continuados por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR, actualmente Ministerio del Poder Popular de Ecosocialismo y Aguas o MINEA)[1], orientados principalmente a la determinación de caudales y acarreo de sedimentos (MOP, 1972), estudios que han continuado hasta el presente. En la **Tabla 2** se resumen algunas de las características fisicoquímicas más relevantes del bajo Orinoco en el canal principal y algunos de sus afluentes.

El Instituto de Recursos Naturales de la Universidad Simón Bolívar crea en 1982 el Proyecto Ecosistema Orinoco (PECOR), concebido como un estudio colaborativo entre investigadores de las Universidades Simón Bolívar (USB) y Central de Venezuela (UCV) (enfocados en la cuenca alta y media) y la Universidad de Colorado-USA (centrados en la cuenca baja). PECOR es considerado como el proyecto de investigación básica y de referencia de mayor continuidad en el ámbito limnológico nacional, y tuvo como misión fundamental el estudio integral de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos de la cuenca del Río

1. A partir de junio de 2018, se cambió la denominación del Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas por la de Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y se creó el Ministerio de Atención de las Aguas.

Orinoco. Los resultados de PECOR muestran las variaciones espacio-temporales entre algunos de sus diversos afluentes de su cuenca media en cuanto a la concentración de sólidos suspendidos totales, el fósforo total, la conductividad, pH, los nitratos y las descargas, las cuales son reportadas en la **Tabla 3,** presentando un gradiente que va de menor a mayor concentración desde los ríos catalogados como de aguas negras hasta los de aguas blancas: negros (Atabapo-Sipapo-Autana) < claros (Ventuari-Cuao-Cataniapo) < blancos (Guaviare-Meta) (Weibezahn, 1985, 1990; Carvajal, 1988; Álvarez *et al*., 1992; Astiz y Álvarez, 1998).

Simultáneamente, el Centro de Ecología del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y la Unidad de Carbono del Instituto Geológico y Paleontológico de la Universidad de Hamburgo (Alemania) realizaron investigaciones en la cuenca baja del Río Orinoco (en las localidades de Musinacio y Ciudad Bolívar) y en las cuencas de los ríos Mapire, Caura y Caroní, con el objetivo de determinar la contribución de carbono orgánico y minerales del Orinoco al océano Atlántico (Depetris & Paolini, 1991).

En la cuenca del Caroní (tributaria de la cuenca baja del Orinoco), en los años 80 y 90 del siglo pasado, la empresa de Electrificación del Caroní (CVG-EDELCA), responsable de coordinar el desarrollo hidroeléctrico de la cuenca, llevó adelante campañas de medición de la calidad de sus aguas en estaciones incluidas en el mapa de la **Figura 1.**

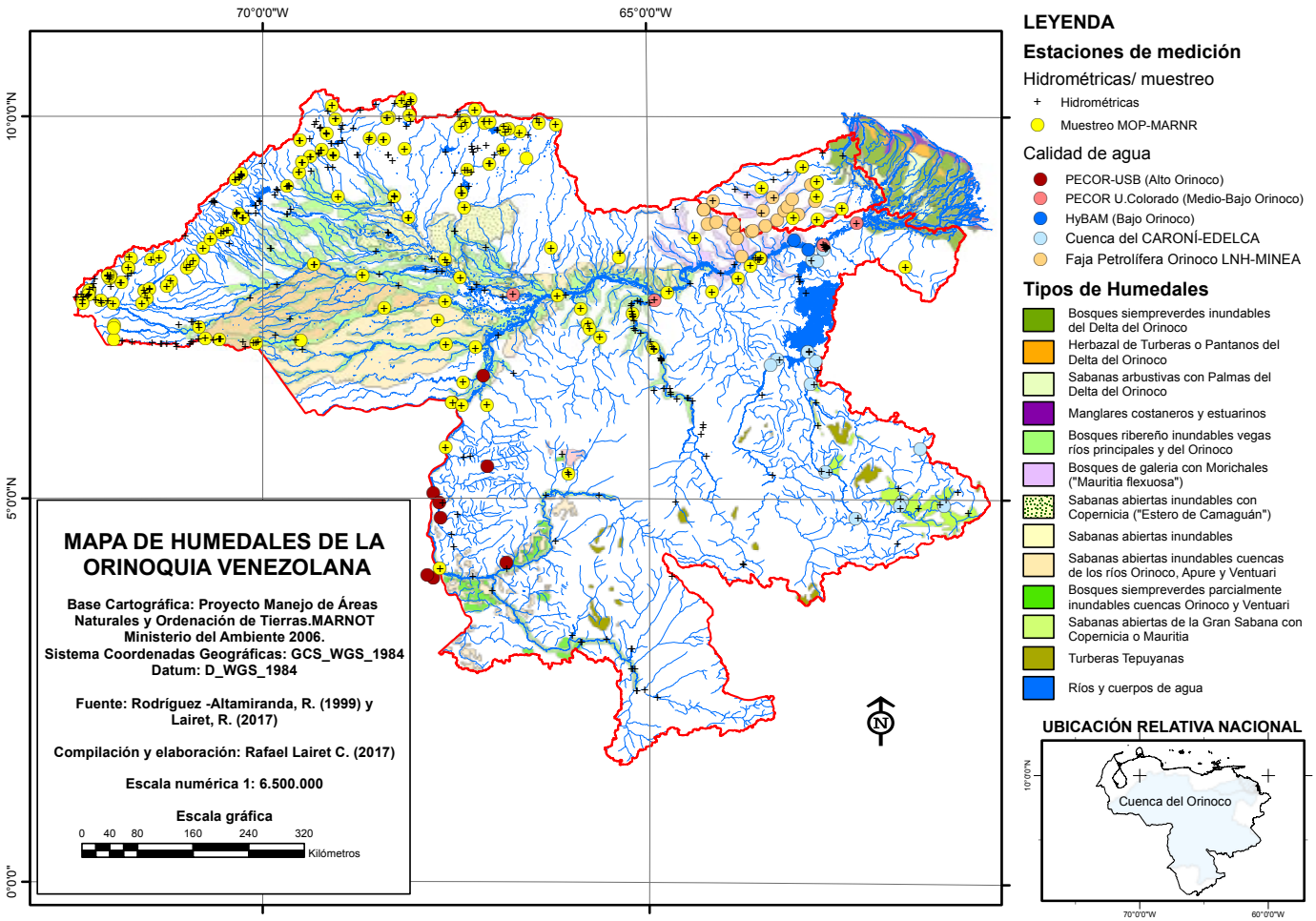
En estudios recientes se ha revelado la presencia de elevadas concentraciones de mercurio en personas que viven en las zonas mineras presentes en la cuenca (Red ARA, 2013). Se han encontrado, en zonas de minería ilegal en el Alto Orinoco, valores altos de mercurio en los sedimentos de los cuerpos de agua (entre 1,37 y 37,74 mg/kg) y en peces utilizados como alimento (3,71 µg Hg/g), siendo el límite permitido por la Organización Mundial de la Salud de 0,5 µg/g (Milano, 2014). Recientemente, un estudio realizado entre comunidades indígenas asen-

Tabla 3. Valores promedio, mínimos y máximos de las variables fisicoquímicas e hidrológicas analizadas en los diferentes ríos y en las hidrofases estudiadas (n=3)

Hidrofases	Aguas bajas (febrero)			Aguas altas (septiembre)		
Tipo de ríos *	Claros	Negros	Blancos	Claros	Negros	Blancos
Temperatura (ºC)	29,6 (28,8-31,0)	30,1 (27,0-34,0)	29,3 (28,6-30,6)	26,5 (25,0-27,6)	25,8 (24,0-28,4)	27,6 (26,4-29,6)
Sólidos suspendidos (mg/L)	9 (5-15)	4 (2-6)	78 (21-189)	11 (6-21)	2 (1-2)	317 (186-507)
Transparencia (m)	1,32 (1,10-1,50)	1,90 (0,60-2,60)	1,07 (0,8-1,4)	1,30 (1,20-1,40)	1,63 (1,3-2,0)	0,47 (0,1-1,1)
pH	5,7 (5,0-6,8)	4,7 (4,1-5,4)	7,4 (7,2-7,8)	5,9 (4,9-6,7)	4,2 (4,0-4,5)	6,3 (6,1-6,5)
Conductividad (µS/cm)	9,00 (8,70-9,40)	10,43 (9,40-12,50)	73,23 (41,8-132,9)	8,57 (4,90-13,30)	9,57 (5,80-13,10)	33,9 (24,8-49,5)
Ortofosfatos (µg/L)	3,40 (3,00-3,80)	3,25 (3,00-3,50)	---	0,00	0,00	---
Nitratos (µg/L)	227,5 (125,7-331,4)	73,73 (10,5-127,7)	91,97 (31,3-136,3)	104,23 (25,20-173,0)	8,77 (3,6-18,2)	131,53 (78,4-203,0)
Fósforo total (µg/L)	8,38 (5,70-11,45)	7,70 (5,40-12,00)	26,6 (19,5-34,5)	8,81 (0,70-20,72)	3,17 (2,5-4,0)	112,77 (71,5-206,5)
Carbono Orgánico Disuelto (mg/L)	1,38 (1,00-1,75)	10,0 (7,3-12,7)	4,55 (4,5-4,6)	3,76 (2,90-4,61)	11,55 (11,4-11,7)	6,89 (6,67-7,1)
Descarga (m^3/s)	238,3 (44,0-591,0)	466,0 (43,0-1255,0)	3189,3 (1845-4096)	1220,3 (160,9-2700)	3044,33 (350-7583)	28009,7 (15450-49762)

* = ríos claros (Ventuari, Cuao, Cataniapo), ríos negros (Atabapo, Sipapo, Autana), ríos blancos (Guaviare, Meta, Orinoco).

Figura 1. Mapa de los humedales y estaciones de calidad de las aguas de la cuenca del Río Orinoco compilado por Lairet (2017). HyBAM: Servicio de Observación de los controles geodinámico, hidrológico y biogeoquímico de la erosión/alteración y de las transferencias de materia en las cuencas del Amazonas, del Orinoco y del Congo.



tadas en la cuenca del Río Caura (afluente del bajo Orinoco) concluyó que 92% de las mujeres examinadas presentan niveles muy superiores a los máximos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (Red ARA, 2013).

3.1.3 Los humedales de la cuenca del Río Orinoco

La Convención Ramsar, en el Artículo 1.1, define los humedales como "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros".

En Venezuela se han efectuado diversos estudios sobre la biología y ecología de los humedales tales como los de Figueroa y Seijas (1986), Lentino y Bruni (1994), Rodríguez-Altamiranda (1999), Lara (2007), Lasso *et al*. (2010), Marrero (2011) y Lasso *et al*. (2014a, b). En Rodríguez-Altamiranda (1999) se realizó el primer levantamiento cartográfico integral de la distribución de estos ecosistemas a nivel del país. Producto del trabajo se lograron diferenciar 9 regiones, 24 categorías de humedales, para un total de 158 humedales.

Entre los humedales más importantes de Venezuela se encuentra el Delta del Orinoco, con una superficie de 20.642 km^2, entre el caño Mánamo y el denominado Río Grande del Orinoco, drenado por más de 22 canales al Océano Atlántico. El Delta se

ha dividido en varias regiones naturales, relacionadas con la mayor o menor influencia fluvial o marina y en cuanto al origen y forma de deposición de los sedimentos.

La **Figura 1** es una compilación de los datos e información recopilada (para la cuenca del Orinoco), y validada mediante imágenes de satélite de la serie LANDSAT de los años 1973 a 2017. Adicionalmente, se incluyeron las estaciones hidrométricas, de muestreo y de calidad de las aguas instaladas por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), el Ministerio del Ambiente de los Recursos Naturales (MARNR, actualmente MINEA) y otras instituciones.

3.2 Lagos y embalses

De los cuerpos de agua venezolanos, el Lago de Valencia, situado en la región centro-norte del país, es el que ha sido más estudiado (Cressa *et al*., 1993). Trabajos recientes han mostrado altas concentraciones de fósforo total (más de 900 µg/L) y de biomasa del fitoplancton (valores de hasta 235 µg/L), con dominancia de cianobacterias (promedio de 77% de dominancia relativa), permitiendo clasificarlo como hipereutrófico (González *et al*., 2012).

Hay pocos trabajos relacionados con la calidad del agua en la región andina venezolana. Los primeros estudios en la Laguna de Mucubají y en la Laguna Negra fueron publicados por Gessner y Hammer (1967), quienes registraron bajas concentraciones de electrólitos, valores de pH ligeramente ácidos y transparencia superior a los 5 metros. Posteriormente, Weibezanh *et al*. (1970) y Lewis y Weibezahn (1976) reportaron valores de pH ligeramente alcalinos para la Laguna de Mucubají, con bajos valores de nitrógeno total (1.120 µg/L) y de fósforo total (6 µg/L), lo que permite clasificarla como un cuerpo de agua oligotrófico.

En el país se cuenta con más de 100 embalses para fines diversos, pero sólo alrededor de 20% de ellos dispone de información sobre la calidad de sus aguas (López *et al*., 2001). La mayoría de los estudios se ha realizado en los cuerpos de agua de la región centro-norte de Venezuela y pocos en las regiones oriental, occidental y sur del país, y algunos de ellos cuentan con más de 20 años de antigüedad y se centran en la descripción y ecología de las comunidades planctónicas, con datos aislados de temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad y algunos nutrientes como nitrógeno inorgánico disuelto y ortofosfatos. Según González y Quirós (2011), los embalses localizados en áreas protegidas con actividades humanas limitadas o ausentes, han podido clasificarse como ultra-oligotróficos u oligotróficos y los embalses ubicados en zonas con escasas poblaciones humanas o con actividad agrícola limitada, como oligo-mesotróficos. Los cuerpos de agua artificiales ubicados en cuencas altamente impactadas, reflejan mayores concentraciones de nutrientes y, consecuentemente, presentan una mayor productividad biológica, pudiéndose clasificar como eutróficos e hipereutróficos. Algunos ejemplos se muestran a continuación, de acuerdo con Lewis y Weibezahn (1976), Infante *et al*. (1992), Soto *et al*. (1994), Marín *et al*. (1999), Páez *et al*. (2001), González y Quirós (2011), González *et al*. (2014 y 2015a) y González (2017):

Ultra-oligotróficos: Guri (Edo. Bolívar), Agua Fría y Taguaza (Edo. Miranda); Oligotróficos: Clavellinos (Edo. Sucre), Lagartijo (Edo. Miranda), Guanapito y El Pueblito (Edo. Guárico); Oligo-mesotróficos: Tierra Blanca (Edo. Guárico) y El Cují (Edo. Anzoátegui); Mesotróficos: El Andino (Edo. Anzoátegui), Camatagua (Edo. Aragua) y El Cigarrón (Edo. Guárico); Eutróficos: La Pereza (Distrito Capital) y Manuelote (Socuy–Edo. Zulia) e Hipereutróficos: Pao-Cachinche (Edos. Carabobo y Cojedes), La Mariposa (Distrito Capital), Quebrada Seca (Edo. Miranda), Suata (Edo. Aragua) y Tulé (Edo. Zulia).

En Venezuela se han documentado dos proyectos de recuperación de la calidad del agua en los embalses: 1) La Mariposa, ubicado a 8 km de la ciudad de Caracas, en el que el desarrollo de la planta acuática *Eichhornia crassipes* ha sido controlado mediante su remoción mecánica, aunque no de manera sistemática (González y Matos, 2012); y 2) Pao-Cachinche, en el centro del país, cercano a la ciudad de Valencia, en el que se aplicó desde el año 2001 un proceso de aireación artificial en un área cercana a la torre-toma logrando revertir los efectos de la eutrofización al inactivar los nutrientes mediante su oxidación (Estaba *et al*., 2006); lamentablemente, el desvío del Río Cabriales hacia los afluentes del embalse en el año 2005 revirtieron los beneficios del proceso de aireación artificial de sus aguas (González y Matos, 2012).

Otro ecosistema importante para el país es el Lago de Maracaibo (estado Zulia) (Cressa *et al*., 1993), y lo han tratado aparte del resto de los lagos

naturales del país por su canal de comunicación con las aguas del Golfo de Venezuela, clasificándolo más bien como un estuario. Sus aguas han sufrido un cambio en su composición química desde 1938, fecha de inicio de las actividades de explotación petrolera y desde 1956 la concentración salina, por la penetración de agua salina desde el Golfo de Venezuela, convirtiendo las aguas del lago en fuentes inaceptables para el consumo humano, riego y usos industriales (Herman de Bautista, 1997).

Parra Pardi (1979) realizó un estudio integral sobre la contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes, obteniendo 49.000 valores de mediciones "in situ" y análisis de laboratorio, determinando la ocurrencia de un proceso de eutrofización, por las concentraciones de fósforo, clorofila-*a* proveniente del plancton y la dominancia de cianobacterias (Parra Pardi, 1979; Rodríguez, 2000). Los trabajos de Parra Pardi permitieron establecer las bases científicas para estándares de calidad de agua y la elaboración de recomendaciones para tomar medidas preventivas (Rincón, 2013).

Entre los datos más recientes sobre calidad de las aguas del Lago de Maracaibo se encuentran los publicados por Esclapés y Galindo (2000), quienes registraron valores fósforo total de hasta 120 µg/L y de nitrógeno total de hasta 1.300 µg/L, que permiten catalogar el lago como un sistema eutrófico y hasta hipereutrófico, trayendo como consecuencia el desarrollo de enormes masas flotantes de la planta acuática *Lemna obscura*, que llegaron a ocupar 8,3% de la superficie total del lago en el año 2004 (Rincón y Mejía, 2013).

3.3 Aguas subterráneas

En el país, se tiene un conocimiento general de los principales factores que controlan el movimiento y dirección de flujo del agua subterránea, sus áreas de recarga y descarga, así como los espesores y dimensiones de los acuíferos y los procesos que controlan su variabilidad, composición y calidad química. Dichos estudios han sido realizados por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) y Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB), universidades y actualmente por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), institución adscrita al Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MINEA), pero no precisamente bajo la óptica hidrogeoquímica. Silva (2000) y Montero (2006) señalan que el MOP impulsó uno de los primeros estudios sobre calidad de las aguas subterráneas a nivel regional en la cuenca del Lago de Maracaibo y Golfo de Venezuela, cuyos resultados permitieron identificar una gran cantidad de acuíferos de aguas salinas, como consecuencia de la historia geológica de la región y por la conexión hidráulica entre las aguas del Lago y las del Golfo.

Por su parte, el Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad Central de Venezuela y otras entidades gubernamentales, desde la década de los 60 del siglo XX, desarrollaron proyectos de investigación en hidrología, hidrogeología e hidrogeoquímica en otras regiones del país, con el fin de conocer las características y potencialidades de los reservorios.

Montero (1996) estudió las aguas subterráneas al norte del estado Monagas, identificando la presencia de aguas probablemente contaminadas por las actividades petroleras y agrícolas; y por su parte, Vargas *et al*. (1997), Rodríguez (2000), Corsi (2006), D´Elia (2006), Michel (2006) y Toro (2012) lo hicieron en la Isla de Margarita, determinando que la calidad del agua mejora a medida que los sistemas de captación se ubican hacia zonas de mayor altura topográfica; así mismo, la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) conllevó a identificar, en orden de importancia, un grupo de muestras salobres, seguido de aguas frescas o dulces y de salinas.

Alvarado y Pérez (1998) reportaron la existencia de problemas de contaminación por el uso de biocidas en regiones tales como Cojedes, Carabobo, Apure, Miranda, Lara, Portuguesa, Mérida, Táchira y Barinas; prácticamente en todos los estados agrícolas. Nevado (1999) caracterizó las aguas subterráneas de la región noreste del estado Bolívar, mientras que Zambrano (1999) estudió geoquímicamente dichas aguas en la Subprovincia Hidrogeológica Andina en un sector de la cuenca del Río Chama. Escalona-Pazo y Marrero-Clemente (2013) determinaron la calidad química de estos reservorios en las zonas Guacuripia-El Palmar, estado Bolívar, concluyendo que sólo un pequeño porcentaje de las aguas estudiadas que no superan 10%, pueden ser clasificadas como excelentes o de Tipo 1, según el Decreto 883 (GORV, 1995). Igualmente, Luna *et al*. (2007) evalua-

ron las aguas subterráneas en el sector de Güigüe de la Cuenca del Lago de Valencia, observando una variación espacial en su calidad química desde las áreas de recarga en dirección a la planicie del lago. Por su parte, Ayala *et al*. (2007) estudiaron la calidad química de las aguas subterráneas de la región de Santa Ana, Península de Paraguaná, estado Falcón, determinando que sólo 6% de las muestras es considerado de buena calidad y apto para el consumo humano, mientras que el restante 94% es de baja calidad (Na^+ y Cl^-).

Montero (2006) y Montero *et al*. (2007b) estudiaron las aguas subterráneas de la región Sur de la Cuenca del Lago de Maracaibo, concluyendo que la influencia antrópica parece ser responsable de la contaminación con nitratos. Por otro lado, el Valle de Caracas fue evaluado por Montero *et al*. (2007a), detectando cuatro zonas hidrogeoquímicas con diferente calidad del agua, a saber: 1) zona propensa a la contaminación doméstica, 2) zona expuesta a la contaminación urbana, 3) zona de acumulación, ubicada sobre una depresión tectónica, donde hay enriquecimiento de nitratos, y 4) zona propensa a la "karstificación", controlada por la disolución de minerales carbonáticos y de pirita.

Biondo y Estévez (2010) señalan que las actividades antrópicas en la Cuenca Hidrográfica del Lago de Valencia y de las subcuencas contenidas en ella, son las causantes de la contaminación de la mayoría de los cuerpos de aguas subterráneas que han sido identificados en el área. Esto fue corroborado por Kutos y Montero (2013) durante el estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas de la subcuenca de la Laguna de Taiguaiguay, obteniendo que 67% de estas aguas no es apto para uso doméstico, según los límites establecidos por el Decreto 883 (GORV, 1995), mientras que en el Municipio Sucre, ubicado al norte de la citada subcuenca, Mateus (2015) señala que 85% de las muestras es óptimo en cuanto a calidad para todo uso doméstico e industrial, no obstante que el 15% restante puede ser destinado a usos agropecuarios, según lo establecido en el Decreto 883.

En Los Valles del Tuy, específicamente en el sector Santa Lucía, Betancourt y Yessica (2012) determinaron que 69% de las muestras de agua estudiadas puede ser clasificado como dulce y el 31% restante como salobre, mientras que Ojeda (2013) señala que, para la zona de Ocumare del Tuy, las aguas se clasifican como excelentes o de aguas Tipo 1 para consumo doméstico, industrial y agrícola, comercio y de recreación.

Vegas (2016) realizó el estudio hidrogeoquímico y de calidad de las aguas subterráneas en la cuenca del Río Palmar, Municipio Rosario de Perijá, estado Zulia, concluyendo que 73,7% de las muestras de aguas se clasifica como dulce, mientras que el 26,3% restante es salobre. Así mismo, atendiendo al Decreto 883 (GORV, 1995), indica que la mayor cantidad de muestras se encuentra en la clasificación de aguas Tipo 1, ocupando la mayor parte de la cuenca estudiada.

Márquez (2016) y Torrealba (2016) evaluaron la calidad química de las aguas subterráneas en las regiones de Duaca, El Eneal y Perarapa y del acuífero Licua. Los valores de SDT (Márquez, 2016) indican que 90,5% de las muestras de agua puede ser clasificado como dulce y el 9,5% restante como aguas salobres; pese a ello, 61,9% de las aguas estudiadas no es apto para uso doméstico, según lo establecido por el Decreto 883 (GORV, 1995); por su parte, Torrealba (2016) señala que sólo 55,5% de las aguas es apto para el consumo humano, cuyos valores de SDT permiten clasificarlas como dulces.

Los resultados obtenidos en los citados estudios son un reflejo de la variabilidad que a nivel nacional tienen las aguas subterráneas en cuanto a su calidad, como producto del impacto que los factores naturales y las actividades antrópicas.

4. Los planes maestros de calidad del agua

La Ley de Aguas de Venezuela (GORBV, 2007) establece que el manejo integral de la calidad de agua de una cuenca se ejecutará haciendo uso de los planes maestros de control y manejo de los cuerpos de agua, donde se determinen las relaciones causa-efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas, las alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros, y las condiciones en que se permitirán sus vertidos, los límites de descargas másicas para cada fuente contaminante y las normas técnicas complementarias necesarias

para el control y manejo de los cuerpos de aguas. A continuación, se resumirán los planes maestros de las cuencas consideradas de atención prioritaria:

4.1 Cuenca del Lago de Maracaibo

Abarca un área de 89.756 km^2, de los cuales 85,4% se encuentra en territorio venezolano (Cressa *et al*., 1993) y el 14,6% restante en Colombia.

El Plan Maestro para el Control y Conservación de la cuenca del Lago de Maracaibo de Parra Pardi (1986) es un documento técnico que identifica, precisa y presenta racionalmente la estrategia y las medidas necesarias para corregir los problemas de calidad de aguas de la cuenca, con el fin de coordinar y servir de directriz para todas las decisiones relativas a calidad de agua a escala de la cuenca. Como resultante del Plan Maestro se deben establecer las actividades en pro de la conservación de la cuenca del Lago y de orientación de otros planes con objetivos más específicos, que se enfocan a reducir o eliminar las descargas de fuentes nitrogenadas en las aguas servidas e industriales que ingresan al lago y/o la reutilización de las aguas servidas para fines selectivos, tales como uso industrial o irrigación y bombeo de las aguas fuera de la región.

4.2 Cuenca del Lago de Valencia

Se ubica en la región centro–norte de Venezuela, con una superficie de 3.150 km^2. Es una cuenca endorreica, todo lo cual ha generado una serie de problemas de contaminación y eutrofización de este ecosistema.

El Plan Maestro (Grupo Técnico de Calidad de Aguas, 1998) orienta sobre las plantas de tratamiento que debían ser construidas y el control de varias fuentes de contaminantes, tales como las aguas cloacales y las descargas de sólidos en los afluentes y en el propio lago.

En el "Proyecto Integral de Saneamiento y Control de Nivel de la Cuenca del Lago de Valencia" se plantea la construcción de colectores y plantas de tratamiento de aguas residuales en los estados Carabobo (La Mariposa y Los Guayos) y Aragua (Taiguaiguay) (MINAMB, 2009), y el proyecto de trasvase de aguas del lago hacia el valle de Río Tucutunemo, que contribuye a controlar el nivel del Lago de Valencia, y el reúso de las aguas para agricultura de riego (MPPCI, 2009).

4.3 Cuenca del Río Yaracuy

Se ubica en la región centro–occidental de Venezuela, con una extensión de 2.380 km^2 y su importancia radica en que las aguas del Río Yaracuy se emplean para irrigación de grandes plantaciones de caña de azúcar, maíz y plátano, así como para el suministro de agua a las poblaciones de San Felipe, San Pablo, Boraure, entre otras (INE, 2014).

De acuerdo con el Decreto N° 883 (GORV, 1995), la Comisión Nacional de Normas Técnicas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente aprobó el 28 de septiembre de 1995 la selección de la cuenca del Río Yaracuy como cuenca piloto para el desarrollo de una metodología en la elaboración de normas técnicas y planes maestros para el control, manejo de la calidad de las aguas y de los efluentes líquidos, específicos para cada cuenca hidrográfica.

Las primeras referencias sobre estudios y disposiciones legales para la clasificación y control de la calidad del Río Yaracuy surgieron a partir de un estudio sanitario integral realizado por Parra Pardi y Blumenkratz (1977) y del Decreto Presidencial N° 2.181 (GORV, 1998).

4.4 Cuenca del Río Tuy

Se encuentra ubicada en la región centro-norte de Venezuela. La importancia de esta cuenca radica en que sus aguas se recogen en un área de 9.180 km^2, donde se alojan la ciudad de Caracas y sus principales ciudades satélites, algunas zonas industriales y agrícolas, varios parques nacionales y regiones turísticas (Camargo, 2001; Ramos *et al*., 2014). Desde el año 1956, esta cuenca ha experimentado un acelerado crecimiento poblacional e industrial, y la construcción de un sistema de acueductos que suministran agua potable a la ciudad de Caracas y zonas aledañas, todo lo cual ha impactado significativamente la calidad de las aguas del Río Tuy y de sus tributarios, entre ellos el Río Guaire, que atraviesa la ciudad de Caracas.

En la cuenca del Río Tuy se adoptó una solución institucional basada en una Autoridad Única de Área y una Agencia de Cuencas. En 1998, la Agencia fue reestructurada y posteriormente derogada. En 2002 se suprimió la Autoridad Única de Área (Ramos, 2014). En el trabajo se recomienda: a) Revisar y rescatar tanto el Plan Maestro de Saneamiento In-

tegral realizado por la Agencia de Cuenca Río Tuy, así como las medidas a mediano y largo plazos en el Plan Maestro desarrollado por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en el año 1997; y b) Rescatar la definición de escenarios propuestos por MARNR en el Plan Rector para la cuenca alta y media del Río Tuy propuesta por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (actualmente MINEA) en el año 1995.

4.5 Cuenca del Río Caroní

Esta cuenca se ubica en la región sur de Venezuela. Abarca más 95.000 km^2 y forma parte, a su vez, de la cuenca del Orinoco. Está constituida por dos grandes ríos, de características hidrográficas muy similares: el propio Caroní (59,8% del total de la cuenca) y su afluente el Río Paragua. Provee 72% de la energía eléctrica a todo el país y, además, produce 100% del agua de consumo de Ciudad Guayana y del pueblo indígena Pemón (CVG-EDELCA, 2004).

La Corporación Venezolana de Guayana (CVG), a través de la Compañía Electrificación del Caroní (EDELCA), realizó en el año 2004 un estudio para la elaboración del Plan Maestro de la cuenca del Río Caroní (CVG-EDELCA, 2004), que incluye un diagnóstico y caracterización geográfica de la cuenca, la evaluación de escenarios de planificación, así como la definición de criterios y lineamientos básicos para su desarrollo y conservación y los mecanismos para su aplicación. Se procura que las actividades económicas y sociales deberán igualmente inscribirse en los objetivos ambientales de la cuenca, y convivir armónicamente con la producción de energía.

5. Calidad del agua y agricultura

A la agricultura se le considera uno de los principales factores de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos como consecuencia de la erosión y de la escorrentía química (Ongley, 1997). Además de los problemas vinculados a la calidad del agua inherentes a la agricultura de riego o de drenaje, otro efecto ambiental grave es la degradación de la calidad de los recursos hídricos, aguas abajo, por efecto de las sales, productos agroquímicos y lixiviados tóxicos.

5.1 La calidad del agua en las fuentes de agua para riego

La calidad física, química y bacteriológica del agua es un factor importante para la escogencia de las fuentes a ser utilizadas en la actividad agrícola (Rojas, 2015). El Decreto N° 883 de las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (GORV, 1995), establece en su Artículo 3° la clasificación de las aguas según sus usos. De acuerdo con él, las Aguas de Tipo 2 son aquellas destinadas para las actividades agropecuarias, las del Subtipo 2A corresponden al riego de vegetales destinados al consumo humano y las del Subtipo 2B pueden usarse para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario. Estos subtipos de agua se refieren a límites e intervalos para microorganismos, elementos químicos, biocidas y radiactividad en las aguas.

La clasificación de agua para riego en Venezuela, de modo de evitar la salinización o tenores elevados de sodio en el suelo, ha sido objeto de diversas investigaciones y propuestas que se apartan del estándar tradicional establecido en el *Handbook N° 60* del US Department of Agriculture (USDA, 1954). En efecto, Pla Sentis y Dappo (1974) publicaron un sistema para la evaluación de la calidad del agua para riego. Posteriormente, Pla Sentis (1983) avanzó en su propuesta al considerar la permanencia en la solución de suelo de las sales e iones disponibles en las aguas de riego; con esa base incorporó consideraciones sobre la tolerancia del cultivo a la salinidad, las condiciones de drenaje y propiedades hidrológicas de los suelos, el clima y las prácticas de riego. El sistema así desarrollado permite efectuar diagnósticos y establecer alternativas y posibilidades de recuperación.

Los estudios sobre agua de riego y salinización revelan la distribución geográfica de la ocurrencia de problemas de esta naturaleza y sus causas. Se señala a las cuencas del Lago de Valencia (Romero de la Cuba, 1982), la cuenca del Río Turbio, estado Lara (Zérega *et al*., 1991) y la península de Paraguaná, por presentar problemas derivados de la salinidad del agua subterránea (Fernández *et al*., 2011). Aguas de calidad inapropiada y limitaciones de los suelos han dado lugar a acumulación de sales en el valle de Quíbor (estado Lara), pero buenas prácticas culturales han evitado la salinización secundaria (Villafañe *et al*., 1999).

Otros problemas que se han presentado son la acidificación de suelos por inadecuadas prácticas de drenaje ocurrida en la isla de Guara (estado Delta Amacuro), en los años 70 (Buroz y Guevara, 1980) y el caso del incremento del contenido de azufre en el acuífero del Lago de Valencia (Alvarado *et al.,* 1996).

La salud humana y la salud ambiental pueden ser afectadas por los contenidos biológicos y los contaminantes químicos, bien sean transportados por las aguas de regadío, así como por las aguas excedentes del proceso agrícola que vierten a cuerpos de agua o se infiltran y percolan hacia los acuíferos, como el caso señalado por Traviezo Valles *et al*. (2004), que estudiaron la contaminación de vegetales al ser consumidos crudos en mercados de la ciudad de Barquisimeto (estado Lara).

La contaminación provocada por prácticas agrícolas fue estudiada por Molina Morales *et al*. (2012) en la zona de Bailadores (estado Mérida), determinándose contaminación de las aguas con agentes bioquímicos, específicamente los organofosforados con valores que superan los límites establecidos por la legislación venezolana. Los autores indican que es posible controlar la situación si se adaptan técnicas ya evaluadas en otras localidades del país. Benítez-Díaz y Miranda-Contreras (2013) revisaron la información existente a nivel nacional sobre la contaminación de las aguas por plaguicidas, encontrando que ésta es dispersa, no oficial y proveniente de trabajos académicos y tesis de grado de los niveles universitarios superiores.

La vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación por infiltración y percolación de aguas con concentraciones elevadas de plaguicidas y fertilizantes en zonas agrícolas fue demostrada por Durán (2006), mediante el estudio del acuífero de Maracay.

Con respecto a las aguas de producción petrolera, Villafañe *et al*. (2004) evaluaron la posibilidad de uso de las aguas salinas que emergen junto con el petróleo. Se pudo comprobar que, mediante tratamiento de reducción hasta un tercio de la salinidad original, se puede usar el agua para regar pastizales de *Brachiaria dictyoneura* sin efectos adversos sobre el suelo.

El riego con aguas residuales tratadas es una práctica posible y utilizada en numerosos países. En Venezuela los sistemas de saneamiento del Lago de Maracaibo y del Lago de Valencia incorporaron proyectos de gran escala que prevén la utilización de esta fuente de agua. El Decreto Nº 883 (GORV, 1995) contiene normas que consideran el reúso de las aguas servidas.

La OMS publicó en 2016 el *Manual para el uso y la disposición segura de aguas residuales, aguas grises y excretas,* que constituye un importante instrumento para complementar las prácticas y procedimientos para el riego con aguas de este tipo.

En Venezuela ya se ha dado inicio al uso de las aguas residuales tratadas como fuente de suministro para la agricultura, como una medida para disminuir la demanda de agua potable y, a su vez, reducir o eliminar la contaminación producida al verter las aguas residuales a los cuerpos de agua (Isea *et al*., 2004). Varias universidades nacionales, a través de sus Facultades de Ingeniería y de Agronomía, han realizado investigaciones destinadas al mejoramiento de los tratamientos, parámetros de diseño y prácticas usadas con este propósito. Al respecto, el Centro de Investigación del Agua de La Universidad del Zulia (CIA-LUZ), desarrolló un sistema de lagunas de estabilización con un tiempo de residencia combinado de 20 días (Trujillo *et al*., 2000; Isea *et al*., 2004).

5.2 Gestión del agua para riego. Planificación

Buroz (2016) señala que en materia de calidad de agua para la agricultura el *Plan Nacional de Agricultura de Riego y Saneamiento de Tierras. Fase I (2015-2019)* debe ser revisado a fin de: 1) Controlar la calidad de agua requerida y producida por el desarrollo de la agricultura periurbana (hortalizas y frutas) en alta tecnología; 2) Realizar un inventario nacional de sitios de presa, incluyendo los lagos colinarios o pequeños embalses, asegurándose de que su cuenca abastecedora mantenga elevados valores de producción y calidad de agua y mínimos de producción de sedimentos; 3) Integrar el manejo sectorial del agua de riego con el manejo de la cuenca, considerando la calidad del agua; 4) Incrementar el conocimiento de los acuíferos, incluyendo la calidad de sus aguas y establecer reglas generales de operación; 5) Desarrollar normas específicas que regulen el reúso de aguas servidas para riego según tipos de cultivos y niveles de tratamiento necesarios.

6. La salud pública y la ingeniería sanitaria

El tema de la Ingeniería Sanitaria se ha desarrollado en sus vertientes clásicas relacionadas con el abastecimiento de agua para consumo humano, el manejo de las aguas residuales y el manejo de los desechos sólidos municipales. La Salud Pública tratará los temas vinculados con las enfermedades de origen hídrico.

6.1 Abastecimiento de agua potable y manejo de aguas residuales

El agua en Venezuela es un bien de dominio público de la Nación. Actualmente, el Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MINEA) ejerce la autoridad sobre el vital recurso y la Hidrológica de Venezuela (HIDROVEN) –junto con sus empresas filiales regionales– es el ente que se encarga de captarlo, adecuar su calidad y distribuirlo a la población, así como de la recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales que se generan.

El país cuenta con una infraestructura sanitaria deficitaria de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales, domésticas e industriales, en el ámbito urbano y rural. Es justo reconocer que el Estado venezolano ha realizado y realiza importantes inversiones en obras sanitarias para depurar aguas residuales a nivel nacional. Pero en el momento de su puesta en marcha, no se implementa un modelo de gestión que garantice la adecuada operación y el mantenimiento de esta infraestructura. El inventario de tecnologías de tratamiento en el ámbito municipal no es preciso ni completo. Se conoce poco del funcionamiento y operación de estas plantas, menos aún de la calidad de sus efluentes, salvo información aportada por escasos trabajos de investigación académica. Información publicada por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB) en 2010 y datos generales existentes por estados, permiten estimar que en Venezuela 30% de las aguas residuales municipales reciben tratamiento (Blanco *et al*., 2015).

Las universidades Central de Venezuela (UCV), Simón Bolívar (USB) y Católica Andrés Bello (UCAB) han participado en la elaboración de la Encuesta sobre Condiciones de Vida (ENCOVI) entre 2014 y 2015. Conforme a los resultados, el alcance del suministro de agua potable a través de acueductos disminuyó de 83,6% a 81,3%. Aparte de esto, 38,4% de la población no tiene acceso diario al servicio. Además, la encuesta señala que el almacenamiento de agua intradomiciliario generalmente inapropiado, que hacen los usuarios por fallas en el servicio, es la causa principal de las enfermedades de origen hídrico que constituyen endemias en el país. Otro dato de valor de la encuesta es que 89,7% de los hogares reporta la existencia de colectores de aguas residuales y concluye que aún con una buena parte de la población disponiendo de estos servicios, el problema ambiental y sanitario principal es la disposición final de los efluentes de aguas residuales.

En el año 2016 una Comisión Especial de la Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, designada para investigar la problemática del agua en el país, elaboró un informe en el cual señalan que son escasos los estudios formales que confirmen la potabilidad del agua que se suministra. Más adelante, manifiesta que en varios poblados de los estados Sucre y Nueva Esparta se presentan períodos de racionamiento prolongados, en algunos casos de 21 días. Al referirse a la zona central del país, denuncian que a los embalses Pao-Cachinche y Camatagua –los cuales surten a la Gran Caracas y los estados Carabobo y Aragua– llegan aguas residuales sin tratamiento y que los mismos presentan signos de eutrofización.

En los estados Zulia, Apure, Barinas, Táchira, Cojedes, Guárico, Bolívar y Delta Amacuro, principales productores agropecuarios del país, la disponibilidad del recurso agua es superior a la demanda. En contraste, el sector petroquímico, químico, siderúrgico, alimenticio y de producción de papel han generado una tendencia a incrementar las demandas en aquellas zonas que presentaban una situación deficitaria. En algunos casos, el agua dedicada al riego ha sido comprometida para el abastecimiento de la población o la industria (FAO, 2015).

Se puede concluir que la situación con respecto al abastecimiento de agua potable y la recolección y depuración de aguas residuales en Venezuela es compleja. Las instituciones han estado trabajando para mejorar los servicios, no obstante, hasta este momento no han logrado el cese de graves deficiencias en estos servicios básicos. Se concluye que todos los sectores de la Nación involucrados deben trabajar de manera coordinada para poder garan-

tizar en el futuro próximo que la población pueda tener acceso al agua potable y al saneamiento.

6.2 Manejo de los desechos sólidos municipales

La contaminación de aguas superficiales y subterráneas, por los lixiviados (líquidos residuales, generalmente tóxicos, que se filtran de un vertedero) procedentes de los sitios de disposición final, es uno de los impactos ambientales asociados a esta actividad. Como ejemplo de estudios de la materia en el país, se puede mencionar el de Polo y Guevara (2001) realizado en el vertedero La Guásima, en el estado Carabobo; en el análisis realizado a cinco muestras en pozos de observación ubicados en el área de influencia, concluyeron que probablemente se estaban movilizando contaminantes provenientes de los lixiviados del vertedero hacia las aguas subterráneas del sector, lo que se evidenció por la presencia de coliformes fecales y totales, sulfuro de hidrógeno y plaguicidas organoclorados.

Otra referencia es una evaluación de la gestión integral del relleno sanitario La Bonanza, en el estado Miranda, realizada por Blanco (2015), en la cual identifica, entre otros impactos ambientales, la contaminación de suelos, aguas superficiales y aguas subterráneas por lixiviados con alto contenido de DBO, DQO y metales, contaminación asociada a percolación de lixiviados hacia las aguas subterráneas y superficiales, desde sectores que no poseen sistemas de captación de lixiviados, hasta problemas operativos del sistema de control de lixiviados, recomendando completar y mejorar tanto el drenaje superficial como la red de captación y tratamiento de los lixiviados.

6.3 Salud pública

La provisión de agua potable y de servicios de recolección de efluentes, aunada a condiciones de pobreza, involucran la aparición de enfermedades de transmisión hídrica, siendo la diarrea en niños una de las más importantes (Martínez, 2013). En Venezuela, el acumulado hasta la semana 52 del año 2016 mostró un total de 1.354.925 casos de diarrea en menores de 5 años, en comparación con el acumulado para la misma fecha de 1.160.625 del año 2015 (MPPS, 2016).

Las enfermedades transmitidas por vectores representan más de 17% de todas las enfermedades infecciosas. En los últimos años, la globalización de los desplazamientos y el comercio, la urbanización no planificada y los problemas ambientales, están influyendo considerablemente en la transmisión de este tipo de enfermedades (OMS, 2017). En Venezuela, afecciones como malaria, chagas, leishmaniasis, dengue, chikungunya y zika forman parte de las enfermedades que actualmente alcanzan cifras elevadas, especialmente en el interior del país.

Uno de los ejemplos es la malaria o paludismo que, para finales de 2016, registró un total de 240.613 casos, lo que representó un aumento de 76,4% con respecto al año anterior (n=136.402). Las 24 entidades federales notificaron casos, con 16 entidades en estado de epidemia. La situación actual de la enfermedad está agravada por el déficit de disponibilidad de terapéutica específica. Al mismo tiempo, la restricción de la disponibilidad de insecticidas y medidas ambientales del control y eliminación de *Anopheles*, agente responsable de la transmisión de la enfermedad, permite predecir que estas cifras podrán incrementarse exponencialmente en los próximos años.

Las enfermedades dengue, chikungunya y zika, transmitidas por los mosquitos *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, ocuparon parte de la morbilidad durante todo 2016, donde la tasa promedio de incidencia acumulada de casos de dengue fue de 94,31 por 100.000 habitantes, mientras que para chikungunya la tasa acumulada resultó en 11,2 casos por cada 100.000 habitantes. Las cifras de zika son poco conocidas. Venezuela ocupa el tercer lugar en el número de casos de zika en las Américas (detrás de Brasil y Colombia), de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud.

7. La institucionalidad de la gestión en la calidad del agua

7.1. Institucionalidad en la gestión de las aguas

De acuerdo con la Ley de Aguas del año 2007 (GORBV, 2007), la organización institucional de la gestión de las aguas la comprende: 1) El Ministerio con competencia en la materia, que ejercerá la Autoridad Nacional de las Aguas. 2) El Consejo Nacional de las Aguas, compuesto por: ministerio con competencia en materia de ambiente, quien lo presidirá; de planificación y desarrollo; de agri-

cultura y tierras; de participación y desarrollo social; de economía popular; de la defensa, a través del componente correspondiente; de minas, industrias básicas; y de ciencia y tecnología, además de un representante de cada uno de los Consejos de Región Hidrográfica, un representante de la Asamblea Nacional, un representante de los usuarios o usuarias de las institucionales de las aguas y un representante del Instituto Nacional de Tierras Indígenas. 3) Los Consejos de Región Hidrográfica, o entes de coordinación entre el Gobierno Nacional y los gobiernos estadales y municipales, y al mismo tiempo entes de concertación con las comunidades y grupos vecinales organizados. 4) Los Consejos de Cuencas Hidrográficas, integrados por el ministerio que ejerza la Autoridad Nacional de las Aguas, gobernaciones y alcaldías, los organismos que formen parte del Consejo de Región Hidrográfica que tengan presencia en la cuenca los usuarios o usuarias de las aguas, los Consejos Comunales, y los pueblos y comunidades indígenas donde los hubiere. 5) Los usuarios o las usuarias institucionales. 6) Los Consejos Comunales, las Mesas Técnicas y Comités de Riego. 7) El Instituto Nacional de Tierras Indígenas. 8) El Ministerio con competencia en materia de defensa, a través del componente correspondiente. 9) Los Consejos Estadales de Planificación y Coordinación de Políticas Públicas. 10) Los Consejos Locales de Planificación Pública.

7.2. Instituciones involucradas en la gestión de la calidad de las aguas

Venezuela en la actualidad cuenta con la empresa hidrológica HIDROVEN, como rectora y supervisora del sector agua potable y saneamiento, y nueve Empresas Hidrológicas filiales Regionales (HIDROCAPITAL, HIDROCENTRO, HIDROLAGO, HIDROFALCON, HIDROSUROESTE, HIDROANDES, HIDROPAEZ, HIDROCARIBE e HIDROLLANOS), todas ellas adscritas al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (actualmente MINEA) (GORBV, 2001).

Existen también Empresas Descentralizadas para la prestación del servicio de agua potable y saneamiento, con participación de Gobernaciones y Alcaldías, así como de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), la cual administra la Gerencia de Obras Sanitarias e Hidráulicas (GOSH), en los estados Amazonas y Delta Amacuro. Las Empresas Descentralizadas más importantes son HIDROLARA, Aguas de Monagas, Aguas de Mérida, HIDROSPORTUGUESA, Aguas de Yaracuy, HIDROBOLIVAR, CVG-GOSH y Aguas de Ejido.

El Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas cuenta con Laboratorios de Efluentes Líquidos en diversos estados de Venezuela, los cuales realizan análisis de la calidad de las aguas (MINEA, s/f), así como HIDROVEN, las Empresas Hidrológicas Regionales y las Empresas Descentralizadas también cuentan con Laboratorios para acometer el estudio de las características fisicoquímicas y biológicas de los cuerpos de agua en cada una de las regiones geográficas que atienden.

Otras instituciones gubernamentales autónomas que realizan gestión para la calidad de las aguas son las siguientes: Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Maracaibo (ICLAM); Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH); el Instituto Nacional Investigaciones Agrícolas (INIA) y el Instituto Nacional de Parques (INPARQUES).

No deben dejarse de lado los aportes que realizan los Laboratorios, Centros e Institutos de las Universidades Autónomas de Venezuela, así como los de otros institutos de investigación científica, Asociaciones Civiles y Organizaciones No Gubernamentales (ONG), cuyas investigaciones y actividades han ayudado a generar políticas de gestión de la calidad de las aguas en el país. Sin intención de hacer una lista exhaustiva, algunas de estas instituciones son:

- Universidades Nacionales Autónomas y privadas: Central de Venezuela (UCV), Simón Bolívar (USB), del Zulia (LUZ), de Oriente (UDO), de Los Andes (ULA), de Carabobo (UC), Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora (UNELLEZ), Centro-Occidental Lisandro Alvarado (UCLA), Nacional Experimental de Guayana (UNEG), Pedagógica Experimental (UPEL), Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM) y la Católica Andrés Bello (UCAB).
- Institutos de Investigación: Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo (INTEVEP) adscrito a la Empresa Estatal Petróleos de Venezuela (PDVSA), Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).
- Asociaciones Civiles y Organizaciones No Gubernamentales (Fundación Tierra Viva, 2010): ACOANA, Asociación Civil Phynatura, Asocia-

ción Venezolana para el Agua (AveAgua) también conocida como Global Water Partnership (GWP/Venezuela), Fundación Aguaclara, Fundación La Salle de Ciencias Naturales La Salle (FLSCN), Fundación Tierra Viva, Instituto para la Conservación del Lago de Valencia (INCOLAGO) hoy extinto, PROVITA, VITALIS A.C.

8. Régimen jurídico de la calidad del agua en Venezuela

El Régimen Jurídico representa el conjunto de normas del marco regulatorio para la Calidad de las Aguas en Venezuela. La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) establece, en el Capítulo de los Derechos Ambientales, la obligación fundamental de garantizar que los elementos del ambiente, entre ellos el agua, sean especialmente protegidos. El Artículo 304 declara que todas las aguas son del dominio público, y responsabilidad del Estado mismo.

8.1 Ley Orgánica del Ambiente (GORBV, 2006)

Establece las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, que incluye la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y del agua como recurso en particular (Artículos 2 y 4); con respecto a la calidad de las aguas, regula la gestión integral del recurso, en función de la sostenibilidad del ciclo hidrológico (Artículo 55). Sobre la sustentabilidad de los recursos hídricos señala la necesidad de conservar los suelos, las áreas boscosas, las formaciones geológicas y la capacidad de recarga de los acuíferos (Artículo 56).

8.2 Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (1983)

La ordenación del territorio (GORV, 1983) es uno de los aspectos básicos de la Constitución (Artículo 128). El Artículo 3 establece que la Ordenación Territorial comprende, entre otros aspectos, "la protección del ambiente y la conservación y racional aprovechamiento de las aguas, los suelos, etc., en función de la ordenación del territorio".

Esta Ley dispone la declaratoria de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), entre las que figuran las Zonas Protectoras que incluyen las de los cuerpos de agua, Zonas de Reserva para la Construcción de Presas y Embalses, Hábitats Acuáticos Especiales para Explotación o Uso Intensivo Controlado, las planicies indudables, Reservas Nacionales Hidráulicas y las Áreas Críticas con prioridad de tratamiento (Artículos 15 y 16).

8.3 Ley de Aguas (2007)

Tiene por objeto (GORBV, 2007) establecer las disposiciones que rigen la Gestión Integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país (Artículo 1). La gestión integral de las aguas es el eje central de las disposiciones de la ley, donde la Cuenca Hidrográfica es la unidad básica de gestión.

En materia de conservación y aprovechamiento sustentable de las aguas, la Ley ratifica lo señalado en la Ley Orgánica del Ambiente sobre la Gestión Integral del Recurso (Artículo 12).

La Ley crea unidades espaciales de referencia para la organización institucional y el manejo de las aguas: Regiones Hidrográficas y Cuencas Hidrográficas –referidas a las aguas superficiales– y las Provincias y Cuencas Hidrogeológicas –referidas a las aguas subterráneas–, señalando la obligatoriedad de establecer programas, proyectos y acciones para la conservación.

La Ley establece Áreas Bajo Régimen de Administración Especial para la gestión integral de las aguas, en los términos de la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio: 1) zonas protectoras de cuerpos de agua, y 2) reservas hidráulicas.

En cuanto al control del uso de las aguas, la Ley señala cuáles son los usos que no están sometidos a control: domésticos, para abrevar ganado y la navegación; y los de aprovechamiento, sujetos a concesiones, asignaciones y licencias.

Con respecto a las descargas a los cuerpos de agua, los generadores de efluentes deben adoptar las medidas necesarias para minimizar la cantidad y mejorar la calidad de sus descargas (Artículo 13).

La ley otorga competencias a la Autoridad Nacional Ambiental para tomar medidas preventivas, correctivas o mitigantes de los daños a la calidad del agua. Y establece un conjunto de sanciones por hechos atentatorios contra la calidad de las aguas, tales como acciones que provoquen la degradación del medio físico o biológico (Artículo 119); realizar

actividades prohibidas en zonas protectoras (Artículo 122); incumplimiento de los controles de calidad de las aguas (Artículo 125).

8.4 Ley de la Calidad de las Aguas y el Aire (2015)

Esta ley (GORBV, 2015) establece las normas sobre la gestión de la calidad de las aguas y del aire, las molestias ambientales, y las condiciones bajo las cuales se debe realizar el manejo de los residuos líquidos y gaseosos. En materia de calidad del agua, establece los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos (Artículo 2).

También prevé el Cronograma de Adecuación contenido en la norma técnica, indicando que deberán presentarlo los establecimientos e instalaciones que no hayan cumplido con los límites establecidos.

8.5 Ley Penal del Ambiente (GORBV, 2012)

En materia de calidad de las aguas (superficiales y subterráneas, Artículo 102), establece un capítulo para los hechos que causen degradación, alteración, deterioro de las aguas y para las demás acciones capaces de causarle daños, estableciendo como delitos modificar el sistema de control o las escorrentías de las aguas, obstruir el flujo o el lecho natural de los ríos, o provocar su sedimentación (Artículo 56).

Igualmente, castiga con pena de prisión y multa la contaminación y envenenamiento de aguas de uso público; el vertido de materiales degradantes en cuerpos de agua, en contravención a las disposiciones técnicas dictadas por el Ejecutivo Nacional.

8.6 Decreto Nº 883. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua Vertidos y Efluentes Líquidos (1995)

Gran parte de las normas del Decreto Nº 883 (GORV, 1995) fue modificada o llevada textualmente a la Ley de Calidad de las Aguas y el Aire, pero mantiene su vigencia en cuanto a la determinación de las actividades sometidas a control, la clasificación de los constituyentes en los vertidos líquidos y el establecimiento de los límites máximos de descargas contaminantes, manteniéndose como norma técnica de la Ley Penal del Ambiente.

Cabe señalar que están vigentes otras normas, como las de la Ley Orgánica para los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (GORBV, 2001), que tienen relación con la calidad de las aguas. Sin embargo, se recogen aquí las principales disposiciones regulatorias, estrictamente desde el punto de vista de la calidad ambiental.

9. Venezuela y el Objetivo 6 del Programa de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (ODS-6)

El Objetivo 6 del Programa de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (ODS-6) establece: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (ONU, 2016). Este objetivo propone una serie de metas para el año 2030 que, para el caso de calidad de agua en Venezuela, se han evaluado, de forma resumida, de la siguiente manera:

Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos, mediante un riguroso proceso de gestión de cuencas, que garantice el tratamiento de los vertidos y los controles de procesos de erosión.

Lograr el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones vulnerables, mediante obras de ingeniería adaptadas a las particularidades del sitio, en virtud de lo establecido en la actual Ley de Aguas.

Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial, reduciendo el marcado deterioro de la calidad del agua en las cuencas ya afectadas y la extensión de estos procesos a numerosas otras cuencas. El plan de gestión integral de las aguas hasta 2030 debe prever la tarea de conocer la situación real de deterioro de los cuerpos de agua afectados a nivel nacional. Evaluar el estado trófico de los embalses y soluciones para su recuperación.

10. Consideraciones finales

Las consideraciones y recomendaciones aquí presentadas son el resultado del Taller sobre "Calidad de Aguas en Venezuela", efectuado en la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, en la ciudad de Caracas, el 2 de agosto de 2017 y que contó con una participación de 30 personas. En este Taller, los autores presentaron el contenido de este capítulo y se recibieron los aportes de los participantes.

10.1 Consideraciones

- **Información insuficiente sobre cuerpos de agua lóticos.** En la actualidad no se dispone de información que permita, entre otros, realizar diagnósticos certeros, detectar variaciones temporales y espaciales, hacer proyecciones y ajustes, para el logro de objetivos en el corto, mediano y largo plazos, todo ello con la visión sistémica que requiere la gestión integral de la calidad del agua, a pesar de la obligatoriedad establecida en la legislación venezolana de generar este tipo de información y garantizar su libre acceso.
- **Monitoreo restringido.** La poca información para caracterizar un cuerpo de agua se restringe a las concentraciones de nutrientes y presencia de plancton, ya que los demás datos disponibles se orientan a parámetros para la operación de las plantas potabilizadoras (turbiedad, color, pH, alcalinidad, entre otras). No se encontró información sistemática alguna relacionada con contaminantes, como materia orgánica, metales pesados, hidrocarburos, biocidas y microorganismos patógenos, lo cual representa una limitación para el análisis de la calidad del agua asociada a las actividades antrópicas prevalecientes en cada región, asociada a la respectiva cuenca hidrográfica.
- **Escasa continuidad de los registros.** La falta de información, debido a la no continuidad de programas de generación de datos de forma sistemática, no permite la calificación de la calidad de muchos cuerpos de agua del país.
- **Información insuficiente sobre cuerpos de agua lénticos.** En la actualidad, en el país se cuentan más de 100 embalses construidos para fines diversos, pero sólo se tiene algún tipo de información sobre la calidad de sus aguas en alrededor de 20% de ellos. La mayoría de los estudios se han realizado en los cuerpos de agua de la región centro norte de Venezuela y pocos estudios han sido desarrollados hacia las regiones oriental, occidental y sur del país.
- **Tratamientos particulares, del drenaje superficial y de los lixiviados.** Es pertinente construir o mejorar la infraestructura de drenaje superficial, así como la red de captación y tratamiento de los lixiviados de los sitios destinados a la disposición final de desechos, a los fines de minimizar o eliminar los riesgos de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por dichos lixiviados.
- **Conocimiento escaso sobre la calidad de aguas subterráneas.** A pesar de la alta variedad de acuíferos existentes en Venezuela y de la importancia de éstos como reservorios de agua dulce, los estudios desde el punto de vista hidrogeológico e hidrogeoquímico están poco desarrollados. Hay un conocimiento general de los principales factores y procesos que controlan el movimiento y dirección de flujo del agua subterránea, sus áreas de recarga y descarga, así como los espesores y longitud de los acuíferos y los procesos que controlan su variabilidad, composición y calidad química.
- **Necesidad de desarrollar planes maestros de calidad de aguas.** Son pocas las cuencas hidrográficas que disponen de planes maestros de calidad de agua, consideradas como de atención prioritaria, debido a su grado actual y potencial de contaminación. En la actualidad, la debilidad institucional en materia de recursos humanos y financieros y los asistemáticos programas de coordinación interinstitucional atentan contra la implementación de planes maestros de calidad de las aguas.
- **Desarrollo institucional sin resultados exitosos.** Venezuela ha puesto en práctica modelos descentralizados con éxito muy limitado. Se han ensayado diversas modalidades institucionales para asegurar la calidad de agua a nivel del recurso. Se atribuyeron las fallas a la escasa cultura de coordinación, escaso control por el

Estado, entre otras, como descoordinación presupuestaria y programática. Parte de este fracaso es endosable a una condición de "rebeldía institucional", altos costos asociados al manejo de la calidad de las aguas, agravado por los limitados recursos económicos percibidos por el aprovechamiento del agua por parte de los distintos usuarios debido a las bajas y desactualizadas tarifas fijadas oficialmente, en respuesta a políticas gubernamentales populistas.

- **Concentración de estudios y datos en áreas particulares.** La mayoría de los estudios de calidad de las aguas se ha concentrado en los cursos que drenan los llanos venezolanos y algunos en los estados meridionales de Bolívar y Amazonas.
- **Necesidad de sumar el enfoque ecocéntrico al antropocéntrico.** El enfoque de la calidad del agua ha sido generalmente orientado para el uso humano (enfoque antropocéntrico). Poco énfasis se ha hecho en la calidad del agua para la biodiversidad y vida silvestre (enfoque ecocéntrico). Las investigaciones sobre alteraciones y afectaciones a los ecosistemas acuáticos por causa de contaminación del agua requieren ser sistematizadas y será necesario establecer una norma de calidad para garantizar la calidad de las aguas naturales, la preservación de los ecosistemas y la idoneidad de los alimentos provenientes de ellos. Condiciones similares son requeridas en los medios marino-costeros, donde, además, se agregan controles de calidad para uso humano de turismo y recreación, aspecto que cuenta con registros sistemáticos de campañas realizadas por las autoridades ambientales en temporadas de uso máximo de estos recursos.
- **Escaso conocimiento del régimen de calidad de agua en humedales.** En Venezuela han sido escasos los trabajos reportados respecto del tratamiento de aguas mediante el uso de humedales.
- **Nuevos enfoques para el estudio de la calidad de agua en agricultura.** La calidad de agua en la agricultura debe abarcar, entre otros, aspectos como (i) riego con aguas servidas, requerimientos de tratamiento, prácticas de seguridad e higiene ocupacional que deben hacer parte de las buenas prácticas; (ii) normas específicas de tratamiento del agua residual según los cultivos a ser regados; (iii) manejo de post-cosecha con aguas sin tratamiento o controles debidos; (iv) aplicaciones de biocidas y fertilizantes y consecuencias sobre la biodiversidad y actividad biológica de los cuerpos receptores y riberas donde vierte el drenaje agrícola, y (v) consecuencias sobre los acuíferos de biocidas y fertilizantes.
- **La salud pública y la calidad del agua deben incluir la del procesamiento post-cosecha.** Se debe controlar y asegurar, por parte de las autoridades competentes, que el procesamiento de alimentos se realice con aguas lo suficientemente tratadas, que cumplan los estándares nacionales e internacionales que regulan la materia. Es necesario implementar un proceso de certificación de los productos agrícolas a partir del cual se avale la "no contaminación" por patógenos y agroquímicos.
- **Requerimiento de normas para riego con aguas residuales.** El manejo de la calidad del agua en la agricultura debe incluir, además de lo pertinente a la relación agua-suelo para evitar la salinización, la consideración de los aspectos relativos a la afectación de la calidad de los alimentos tanto por prácticas de riego con aguas residuales, como por manipulación post-cosecha de los alimentos utilizando aguas contaminadas.
- **Mejoramiento de instrumentación del régimen legal.** Venezuela dispone de un marco legal ambiental que, a todas luces, es adecuado para una gestión de la calidad de las aguas de Venezuela, tanto preventiva, como correctiva. Sin embargo, la aplicación o cumplimiento de ese marco legal está en deuda con el desarrollo de éste.
- **Prioridad a la calidad de agua en el nuevo Plan de Gestión Integral de las Aguas.** En la actualidad, todas las evidencias hacen presumir un marcado deterioro de la calidad del agua en las cuencas ya afectadas y la extensión de estos procesos a numerosas otras cuencas. El plan de gestión integral de las aguas hasta 2030, debe prever retomar la tarea de conocer la situación real de deterioro de los cuerpos de agua afectados a nivel nacional. De suma importancia es la evaluación del estado trófico de

los embalses y el estudio de soluciones para su recuperación.

- **La necesaria integración en la gestión de calidad de las aguas.** Queda de manifiesto que se debe avanzar en lograr la apropiada calidad del agua para abastecimiento, desarrollar los sistemas de tratamiento de aguas, extremar los controles de las aguas servidas en las diferentes cuencas, conservar y proteger las cuencas y los ecosistemas relacionados con el agua, concretar la gestión integrada de cuencas, continuar y fortalecer los programas de capacitación en la gestión de recursos hídricos, y continuar y reforzar la incorporación de las comunidades urbanas y rurales a la gestión de las aguas.

10.2 Recomendaciones

- **Calidad del agua es un derecho humano.** Es necesario y de principios enfocar el acceso al agua como un derecho humano; el ciudadano como sujeto del derecho al acceso del agua en términos de calidad, cantidad y continuidad.
- **Garantía de calidad en la prestación de servicios sanitarios del agua.** Implementar, a través de acuerdos y las debidas coordinaciones interinstitucionales, las condiciones, medidas y acciones que permitan implantar un modelo de gestión adecuado que garantice la operación, mantenimiento y sustentabilidad de la infraestructura sanitaria, con énfasis en la de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales.
- **Información exhaustiva y sistemática de los sistemas de tratamiento en Venezuela.** Actualizar, sistematizar y completar el inventario de tecnologías de tratamiento en el ámbito municipal, a los fines de aumentar y mejorar el conocimiento sobre el funcionamiento y operación de estas plantas y conocer la calidad de sus efluentes, ya que en Venezuela 30% de las aguas residuales municipales reciben tratamiento.
- **Información suficiente y transparente de los indicadores de servicios sanitarios.** Incrementar, a través de sólidas, planificadas y sostenidas políticas públicas, la población con suministro diario de agua potable, como un indicador de calidad de vida y, de esta forma, disminuir los riesgos de afectación de la población por enfermedades de origen hídrico, debido a un almacenamiento inapropiado de las aguas.
- **Criterios para la selección de indicadores y calidad del registro.** Se requiere que la información sea resultado del procesamiento de datos confiables, oportunos y con periodicidad tal que responda a un método establecido, para visualizar las variaciones espaciales y temporales de la calidad física, química y biológica en un cuerpo de agua. Para ello, es necesario establecer índices o indicadores de calidad por regiones y cuencas hidrográficas que permitan realizar su seguimiento, atendiendo no sólo a los parámetros de calidad del agua, sino también a las características naturales de la cuenca y uso del suelo.
- **Consideración de la calidad hidrobiológica.** En las cuencas productoras, la meta es mantener la calidad del agua para preservación de la biota y, con ello, garantizar cualquier otro uso del recurso, y en las cuencas receptoras mantener una calidad del agua que garantice las condiciones de bienestar a las poblaciones aledañas.

11. Referencias bibliográficas

Alvarado, J.; Seiler, K.P. & Trimboin, P. (1996). Investigación hidrogeológica, isotópica e hidro química de la cuenca del Lago de Valencia (Venezuela). En: International Atomic Energy Agency (IAEA)–UNESCO. *Isotopes in Water Resources Management Proceedings of a Symposium on Isotopes in Water Resources Management.* Vienna: 281-300.

Alvarado, Y. y Pérez, C. (1998). El uso de biocidas: un problema ambiental. *Interciencia*, 23: 20-25.

Álvarez, H.; Carvajal, H. y Martínez, A. (1992). *Monitoreo de parámetros fisicoquímicos y del plancton en el alto y medio Orinoco.* Proyecto Ecosistema Orinoco (PECOR). Quinta etapa. Informe de resultados. Caracas: Instituto de Recursos Naturales, Universidad Simón Bolívar. 98 pp.

Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela (2016). *Problemática de agua en Venezuela.* Informe de la Comisión Designada. Caracas, Venezuela.

Astiz, S. y Álvarez, H. (1998). El zooplancton en el alto y medio Río Orinoco, Venezuela. *Acta Científica Venezolana,* 49: 5-18.

Ayala, L.M.; Montero, R.L. y Tosiani, T. (2007). *Procesos, factores y calidad química de las aguas subterráneas de la región de Santa Ana, Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela.* IX Congreso Geológico Venezolano. Versión CD.

Barletta, M.; Jaureguizar, A.; Baigum, C.; Fontura, N.; Agostinho, A.; Almeida-Val, V.; Torres, R.; Jiménez, L.; Giarrizos, T.; Fabre, N.; Batista, V.; Lasso, C.; Taphorn, D.; Costa, M.; Chaves, P.; Viera, J. & Correa, M. (2010). Fish and aquatic habitat conservation in South America: A continental overview with emphasis on Neotropical system. *Journal of Fish Biology,* 76: 2118-2176.

Benítez-Díaz, P. y Miranda-Contreras, L. (2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental,* 29: 7-23.

Betancourt, D. y Yessica, C. (2012). *Estudio de la calidad química y tipos de aguas subterráneas en el Sector Santa Lucía de los Valles del Tuy, estado Miranda.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 159 pp.

Biondo, D. y Esteves, N. (2010). *Evaluación hidrogeológica de la Laguna de Taiguaiguay, Municipio Zamora, Estado Aragua.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 138 pp.

Blanco, H.; Najul, M.V. y Sánchez, R. (2015). La calidad del agua y su contaminación. En: A. Gabaldón, A. Rosales, E. Buroz, J.R. Córdova, G. Uzcátegui y L. Iskandar (eds.). *Agua en Venezuela: Una riqueza escasa.* Tomo 1. Fundación Empresas Polar. Caracas: 253-284.

Blanco, S. (2015). *Evaluación de la gestión integral del relleno sanitario La Bonanza.* Trabajo de Grado presentado a la Universidad Simón Bolívar como requisito para optar al grado de Magíster en Desarrollo y Ambiente. Universidad Simón Bolívar, Caracas.

Buroz, E. (2016). *El agua en Venezuela: Pasado, Presente y Futuro. Parte II: Diseñando la Carta de Navegación.* Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Trabajo de Incorporación como Individuo de Número. Caracas.

Buroz, E. y Guevara, J. (1980). Prevención de crecidas en el Delta del Orinoco y sus efectos ambientales. En: ONU, CEPAL y ONU, PNUMA. *Agua, Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina.* Santiago de Chile.

Camargo, G. (2001). *Manejo integrado de recurso Agua. Caso de aplicación: Cuenca del río Tuy, Venezuela.* Trabajo de Ascenso a la categoría de Profesor Titular. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería, Mérida.

Carvajal-Chitty, H. (1988). Nuevos géneros y especies de fitoplancton para Venezuela colectados en las aguas del alto y medio Orinoco. *Memorias de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle,* 48: 91-103.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe.* Naciones Unidas, Chile. Disponible en línea: www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf. Consultado: mayo, 2017.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999). Gaceta N° 36.860. 30 de diciembre de 1999. Caracas.

Corporación Venezolana de Guayana, Electrificación del Caroní (CVG-EDELCA) (2004). Estudio Plan Maestro de la Cuenca del Río Caroní. Síntesis. CVG-EDELCA, Ciudad Guayana.

Corsi, J. (2006). *Procesos hidrogeoquímicos que controlan la composición de las aguas subterráneas de la cuenca Pedro González, Isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 94 pp.

Cressa, C.; Vásquez, E.; Zoppi, E.; Rincón, J.E. y López, C. (1993). Aspectos generales de la Limnología en Venezuela. *Interciencia*, 18(5): 237-248.

D´Elia, K. (2006). *Estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas de la cuenca Santa Ana, Isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 80 pp.

Depetris, P. & Paolini, J. (1991). Biogeochemical aspects of South American rivers. The Paraná and the Orinoco. En: E.T. Degens, S. Kempe & J.E. Richey (eds.). *Biogeochemistry of Major World Rivers. SCOPE* 42. Wiley, London: 105-125.

Durán, L. (2006). Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de aguas subterráneas por actividades industriales. El caso del acuífero de Maracay, Distrito Girardot, Aragua, Venezuela. Trabajo de Grado para optar al título de Magister Scientiae en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente, con énfasis en Estudios de Impacto Ambiental. Universidad de Los Andes, CIDIAT, Mérida.

Escalona-Pazo, G. y Marrero-Clemente, S. (2013). Calidad química de las aguas subterráneas pertenecientes a las zonas Guacuripia-El Palmar, estado Bolívar. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra* (GEOS), 44: 45-50.

Esclapés, M. y Galindo, I. (2000). Calidad de las aguas del Lago de Maracaibo. En: G. Rodríguez (ed.). *El Sistema de Maracaibo. Biología y ambiente.* 2ª edición. Caracas: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. pp. 125-146.

Estaba, M.; González, E.J. y Matos, M.L. (2006). Desestratificación artificial en el embalse Pao-Cachinche: Primer y exitoso caso de mejoramiento de la calidad del agua en Venezuela. En: J.G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi & C. Sidagis-Galli (eds.). *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gestão.* Rede EUTROSUL, PROSUL, Instituto Internacional de Ecología. São Carlos, Brasil: 429-455.

Fernández, A.; Villafañe, R. y Hernández, R. (2011). Calidad del agua de riego y afectación de los suelos por sales en la península de Paraguaná, Venezuela. *Agronomía Tropical,* 61(3-4): 253-261.

Figueroa, D. y Seijas, E. (1986). Humedales en Venezuela. En: D. Scott & M. Carbonell (eds.). *A directory of Neotropical Wetlands.* Cambridge, UK: IUCN Conservation Monitoring Centre.

Fundación Tierra Viva (2010). *Directorio de Organizaciones No Gubernamentales Ambientales de Venezuela.* Caracas: Fundación Tierra Viva, Proyecto de Redes Ambientales y Unión Europea.

Gabaldón, A. (2015). Agua y desarrollo. En: A. Gabaldón, A. Rosales, E. Buroz, J.R. Córdova, G. Uzcátegui y L. Iskandar (eds.). *Agua en Venezuela: Una riqueza escasa.* Tomo 1. Caracas: Fundación Empresas Polar. pp. 59-77.

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela (GORBV) (2001). *Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento.* Gaceta Extraordinaria N° 5.568. 31 de diciembre de 2001. Caracas.

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela (GORBV) (2006). *Ley Orgánica del Ambiente.* Gaceta N° 5.833. 22 de diciembre de 2006. Caracas.

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela (GORBV) (2007). *Ley de Aguas.* Gaceta N° 35.595. 2 de enero de 2007. Caracas.

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela (GORBV) (2012). *Ley Penal del Ambiente.* Gaceta N° 39.913. 2 de mayo de 2012. Caracas.

Gaceta Oficial República Bolivariana de Venezuela (GORBV) (2015). *Ley de la Calidad de las Aguas y el Aire.* Gaceta Extraordinaria N° 6.207. 28 de diciembre de 2015. Caracas.

Gaceta Oficial de la República de Venezuela (GORV) (1983). *Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio.* Gaceta Extraordinaria N° 3.238. 11 de agosto de 1983. Caracas.

Gaceta Oficial de la República de Venezuela (GORV) (1995). *Normas para Ia clasificación y el control de Ia calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.* Decreto N° 883 del 11 de octubre de 1995. Gaceta Extraordinaria N° 5.021. 18 de diciembre de 1995, Caracas.

Gaceta Oficial de la República de Venezuela (GORV) (1998). *Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas del Río Yaracuy.* Gaceta N° 36.344. 28 de noviembre de 1998. Caracas.

Gessner, F. & Hammer, L. (1967). Limnologischen Untersuchungenan Seen der venezolanischen Hochanden. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.,* 52(3): 301-320.

González, E.J. (2017). *Evaluación limnológica del embalse Camatagua (Edos. Aragua y Guárico).* Informe final del Proyecto PEII 20110001396. Informe técnico presentado al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT). Caracas. 37 pp.

González, E.J. y Matos, M.L. (2012). Manejo de los Recursos Hídricos en Venezuela. Aspectos Generales. En: B. Jiménez-Cisneros y J.G. Tundisi (eds.). *Diagnóstico del Agua en las Américas.* México: Red Interamericana de Academias de Ciencias–Programa de Aguas, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC. pp. 437-447.

González, E.J. & Quirós, R. (2011). Eutrophication of reservoirs in Venezuela: Relationships between nitrogen, phosphorus and phytoplankton biomass. *Oecologia Australis,* 15(3): 458-475.

González, E.J.; Álvarez, M.A.; Barrero, M. y Finol; H. (2012). *Limnología y efecto de los impactos antrópicos sobre los peces de interés comercial del embalse de Suata (Estado Aragua) y del Lago de Valencia (Estados Aragua y Carabobo).* Informe final del Proyecto de Grupo PG 03.00.6495.2006/2. Informe técnico presentado al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH-UCV). Caracas. 42 pp.

González, E.J.; Malaver, N. y Naveda, J. (2015a). Los ecosistemas acuáticos y su conservación. En: A. Gabaldón, A. Rosales, E. Buroz, J.R. Córdova, G. Uzcátegui y L. Iskandar (eds.). *Agua en Venezuela: Una riqueza escasa.* Tomo 1. Caracas: Fundación Empresas Polar. pp. 187-251.

González, E.J.; Matos, M.L.; Buroz, E.; Ochoa Iturbe, J.; Machado-Allison, A.; Martínez, R. y Montero, R. (2015b). Agua Urbana en Venezuela. En: G. Roldán, M.L. Torregrosa, K. Vammen, E.J. González, C. Campuzano y A. de la Cruz (Eds.). *Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de las Academias de Ciencias.* México: Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS)–Programa de Aguas, con apoyo de IHP-UNESCO. pp. 574-619.

González, E.J.; Peñaherrera, C.; López, D. y Rodríguez, L. (2014). *Aspectos limnológicos de los embalses Suata y Camatagua (Edo. Aragua).* Memorias del Instituto de Biología Experimental, 7: 81-84.

Grupo Técnico de Calidad de Aguas (1998). *Plan Maestro para el control y manejo de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia.* Caracas: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables-Dirección General Sectorial de Calidad Ambiental-Comisión Nacional de Normas Técnicas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente.

Herman de Bautista, S. (1997). *Proceso de Salinización en el Lago de Maracaibo.* Maracaibo: ICLAM-CORPOZULIA,.

Iglesias, I.; De la Vega, G. y Egaña, I. (2012). *Conceptualización de Soluciones para la Rehabilitación y Optimización de las Plantas Mayores de Potabilización de Agua de Venezuela.* Informe Técnico. Barcelona: Hidroven, CAF.

Infante, A.; Infante, O.; Vegas, T. y Riehl, W. (1992). *Proyecto Multinacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales. I. Embalses Camatagua, Guanapito y Lagartijo.* Caracas: Universidad Central de Venezuela y Organización de los Estados Americanos. 63 pp.

Instituto Nacional de Estadística (INE) (2014). *Sistema de Indicadores de Calidad de Agua. Parte alta del Río Yaracuy.* San Felipe. 41 pp.

Isea, D.; Bello, N.; Vargas, L.; Yabroudi, S.; Durán, J. y Delgado, J. (2004). Estudio de la acumulación de metales micronutrientes en suelos sometidos a riego con aguas residuales tratadas. *Ciencia*, 12(2): 179-194.

Kutos, O. y Montero, R. (2013). Estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas de la cuenca de la laguna de Taiguaiguay, estado Aragua. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra (GEOS),* 44: 59-72.

Lairet, R. (2017). *Humedales llanos Centro Orientales: Modelos para evaluar sostenibilidad del uso del recurso hídrico.* Tesis Doctoral en Desarrollo Sostenible. Decanato de Estudios de Postgrado, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.

Lara, B.J. (2007). *Validación de un instrumento para la caracterización e Inventario de Humedales Altoandinos, sector Micarache, subcuenca de Gavidia, Parque Nacional Sierra Nevada, Mérida, Venezuela.* Tesis de Grado, Título de Ingeniero Forestal, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida, Venezuela.

Lasso, C.A.; Gutiérrez, F.P. y Morales-B., D. (eds.) (2014a). X. *Humedales interiores de Colombia: Identificación, caracterización y establecimiento de límites según criterios biológicos y ecológicos.* Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Bogotá, D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 255 pp.

Lasso, C.A.; Rial, A.; Colonnello, G.; Machado-Allison, A. y Trujillo, F. (eds.) (2014b). *XI. Humedales de la Orinoquia (Colombia-Venezuela).* Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 303 pp.

Lasso, C.A.; Usma, J.S.; Trujillo, F. y Rial, A. (eds.) (2010). *Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco:*

Bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. Bogotá, D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle, Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia). 609 pp.

Lentino, M. y Bruni, A.R. (1994). *Humedales Costeros de Venezuela: Situación ambiental.* Caracas, Venezuela: Sociedad Conservacionista Audubon de Venezuela.

Lewis Jr., W.M. & Saunders, J.F. (1989). Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River. *Biogeochemistry*, 7: 203-240.

Lewis Jr., W.M. & Weibezahn, F.M. (1976). Chemistry, energy flow, and community structure in some Venezuelan fresh waters. *Arch. Hydrobiol.,* Suppl. 50: 145-207.

López, C.; Villalobos, M. y González, E.J. (2001). Estudio sobre el zooplancton de los embalses de Venezuela: Estado actual y recomendaciones para futuras investigaciones. *Ciencia*, 9(2): 217-234.

Luna, M.W.; Montero, R.L. y Yanes, C. (2007). *Procesos geoquímicos que controlan la composición química de las aguas subterráneas en el sector Güigüe en la Cuenca del Lago de Valencia.* IX Congreso Geológico Venezolano. Versión CD.

Machado-Allison, A.; Lasso, C.; Usma, J.S.; Sánchez, P. y Lasso, O. (2010). Peces (Cap. 7). En: C. Lasso, J.S. Usma, F. Trujillo y A. Rial (eds.). *Biodiversidad de la Cuenca del Río Orinoco: Bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad.* Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Bogotá, D.C., Colombia: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). pp. 217-257.

Marín, J.C.; Ledo de Medina, H.; Hernández, J.L. y López, C. (1999). Variación vertical y temporal de la productividad primaria y su relación con algunos elementos nutritivos en un reservorio de agua tropical, Río Socuy. Venezuela. *Ciencia*, 7(2): 163-180.

Márquez, I. (2016). *Estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas en la región de Duaca, El Eneal y Perarapa, Municipio Crespo, Barquisimeto, edo. Lara.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Marrero, C. (2011). La vegetación de los humedales de agua dulce de Venezuela. *BioLlania* Edición Especial, 10: 50-263.

Martínez, R. (2013). *La gestión del agua potable y el saneamiento en el Área Metropolitana de Caracas.* Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales (ILDIS). Caracas: Oficina en Venezuela de la Fundación Friedrich Ebert. 23 pp.

Mateus C., N.A. (2015). *Estudio de la calidad química y tipos de aguas subterráneas presentes en la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay, estado Aragua, Venezuela.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 172 pp.

Michel, J. (2006). *Estudio de la evolución hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de la cuenca La Fuente Paraguachí, Isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta, Venezuela.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 126 pp.

Milano, S. (2014). Venezuela. En: C. Heck y J. Tranca (eds.). *La realidad de la minería ilegal en países amazónicos.* Lima: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, Negrapata S.A.C. pp. 219-247.

Ministerio de Obras Públicas (MOP) (1972). *Mediciones en ríos grandes.* Caracas: Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Recursos Hidráulicos. División de Hidrología. 90 pp.

Ministerio del Poder Popular de Comunicación e Información (MPPCI) (2009). Obras de Saneamiento y Control del Lago de Valencia. Disponible en: http://www.venezueladeverdad.gob.ve/obras Consulta: febrero de 2009.

Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MINEA) (s/f). Laboratorios Ambientales. Disponible en línea: www.minea.gob.ve/laboratorios-ambientales Consultado: junio de 2017.

Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB) (2009). Proyecto Cuenca Lago de Valencia. Viceministerio del Agua. Disponible en: http://www.minamb.gob.ve/index.php?option=com_content&task=view&id=24&Itemid=38 Consulta: febrero de 2009.

Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS) (2016). *Boletín Epidemiológico.* En D.d.V. Epidemiológica (ed.). Vol. 52. Caracas: Ministerio del Poder Popular para la Salud.

Molina-Morales, Y.; Flores-García, M.; Balza-Quintero, A.; Benítez-Díaz, P. y Miranda-Contreras, L. (2012). Niveles de plaguicidas en aguas superficiales de una región agrícola del estado Mérida, Venezuela, entre 2008 y 2010. *Revista Latino Americana de Contaminación Ambiental,* 28(4): 289-301.

Montero, R.L. (1996). *Caracterización hidrogeoquímica de aguas subterráneas asociadas a zonas de explotación de hidrocarburos.* Trabajo de Ascenso. Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 203 pp.

Montero, R.L. (2006). *Estudio geoquímico de las aguas subterráneas de la cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela.* Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Caracas. 344 pp.

Montero, R.L., Yanes, C. y Bolívar, V. (2007a). *Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de la región nor-central del Valle de Caracas, Distrito Capital, Venezuela.* IX Congreso Geológico Venezolano. Versión CD.

Montero, R.L., Yanes, C. y Redondo, R. (2007b). *Evolución geoquímica e identificación de los procesos que controlan la composición química de las aguas subterráneas de la región sur-central, Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela.* IX Congreso Geológico Venezolano. Versión CD.

Nevado, N.A. (1999). *Caracterización geoquímica de aguas subterráneas asociadas a rocas ígneo-metamórficas.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 113 pp.

Ochoa Iturbe, J.; Uzcátegui, G.; Rosales, A.; Córdova, J.R.; Buroz, E. y López, J.L. (2015). Agenda para la investigación y formación de recursos humanos para el aprovechamiento integral de las aguas. En: A. Gabaldón, A. Rosales, E. Buroz, J.R. Córdova, G. Uzcátegui y L. Iskandar (eds.). *Agua en Venezuela: Una riqueza escasa.* Tomo 2. Caracas: Fundación Empresas Polar. pp. 949-981.

Ojeda, H.V. (2013). *Caracterización hidrogeológica, contaminación y uso de acuíferos del sector Ocumare del Tuy, estado Miranda.* Trabajo de Grado de Maestría. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 114 pp.

Ongley, E. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los Recursos Hídricos.* Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible.* En: http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/ Consultado: junio 2017.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015). *Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO.* Disponible en línea: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ven/printesp1.stm Consultado: junio de 2017.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2016). *Planificación de la seguridad del saneamiento: Manual para el uso y la disposición seguros de aguas residuales, aguas grises y excretas.* Ginebra: Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente. 156 pp.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2017). *La Asamblea Mundial de la Salud llega a una serie de acuerdos sobre el control de vectores, las enfermedades no transmisibles y los ODS.* Disponible en línea: http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/vector-control-ncds-cancer/es/ Consultado: junio de 2017.

Páez, R.; Ruiz, G.; Márquez, R.; Soto, L.M. Montiel, M. & López, C. (2001). Limnological studies on a shallow reservoir in western Venezuela (Tulé Reservoir). *Limnologica*, 31: 139-145.

Paolini, J.; Hevia, R. & Herrera, R. (1987). Transport of carbon and minerals in the Orinoco and Caroní rivers during the years 1983-1984. *Mitt. Geol.-Paläont.* Inst. Univ. Hamburg, 64: 325-338.

Parra Pardi, G. (1979). *Estudio Integral sobre la Contaminación del Lago de Maracaibo y sus Afluentes.* Parte II. Evaluación del Proceso de Eutrofización. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela. 235 pp.

Parra Pardi, G. (1986). *La conservación del Lago de Maracaibo: diagnóstico ecológico y plan maestro.* Caracas: Publicaciones LAGOVEN. 86 pp.

Parra Pardi, G. y Blumenkratz, G. (1977). *Estudio sanitario integral del Río Yaracuy.* Caracas: Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental. 25 pp.

Pla Sentis, I. (1983). Sistema Integrado Agua–Cultivo–Suelo–Manejo para evaluar la calidad de agua para riego. En: *Proceedings of a Symposium on Isotope and Radiation Techniques in Soil Physics and Irrigation Studies:* 191-206.

Pla Sentís, I. y Dappo, F. (1974). Sistema Racional para la Evaluación de la Calidad de Aguapara Riego. Suplemento Técnico N° 12. *Boletín Informativo FUDECO.* Barquisimeto.

Polo, M. y Guevara, E. (2001). Contaminación de acuíferos por efecto de los lixiviados en el área adyacente al vertedero de desechos sólidos La Guásima, Municipio Libertador, Estado Carabobo. *Revista Ingeniería UC* (en línea) 8(2), pp.0. Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70780201 Consultado: junio 2017.

Ramos, M. (2014). *Análisis de la variación temporal y espacial de la calidad del agua de la cuenca media del Río Tuy en el periodo 1969–2008.* Trabajo de Grado para optar al título de Magister Scientiarum en Ingeniería Sanitaria. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Caracas.

Ramos, M.; Berroterán, D. y Najul, M.V. (2014). Patrones de ocupación del territorio en la Cuenca Media del Río Tuy y su impacto en la calidad del agua. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela,* 29(3): 17-28.

Red Ara (2013). *La contaminación por mercurio en la Guayana Venezolana: Una propuesta de diálogo para la acción.* Caracas. Disponible en: http://red-ara-venezuela.blogspot.com Consultado: mayo 2017.

Rincón, J.E. (2013). Pasado, presente y perspectivas de la eutrofización del Lago de Maracaibo. En: J.E. Rincón y M. Boves (eds.). *Eutrofización del Lago de Maracaibo: Pasado, presente y perspectivas.* Editorial de la Universidad del Zulia (Ediluz). Maracaibo: 5-26.

Rincón, J.E. y Mejía, L. (2013). Factores ambientales asociados al sobrecrecimiento de *Lemna obscura* en el Lago de Maracaibo: Evaluación de una hipótesis. En: J.E. Rincón y M. Boves (eds.). *Eutrofización del Lago de Maracaibo: Pasado, presente y perspectivas.* Editorial de la Universidad del Zulia (Ediluz). Maracaibo: 167-206.

Rodríguez, D. (2000). *Estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas de la zona La Fuente–Paraguachí, Isla de Margarita, Venezuela.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 157 pp.

Rodríguez, G. (2000). El plancton del Sistema de Maracaibo. En: G. Rodríguez (ed.). *El Sistema de Maracaibo. Biología y ambiente.* 2ª edición. Caracas: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. pp. 61-73.

Rodríguez-Altamiranda, R. (1999). *Conservación de Humedales en Venezuela: Inventario, diagnóstico ambiental y estrategia.* Caracas: Comité Venezolano UICN. 110 pp.

Rojas, R. (2015). El agua y la agricultura. En: A. Gabaldón, A. Rosales, E. Buroz, J.R. Córdova, G. Uzcátegui y L. Iskandar (eds.). *Agua en Venezuela: Una riqueza escasa.* Tomo 2. Caracas: Fundación Empresas Polar. pp. 481-520.

Romero de la Cuba, R. (1982). *Alternativas de Riego en la cuenca del Lago de Valencia.* Trabajo Especial de Grado para optar al grado de Magister Scientiae en Riego y Drenaje. Mérida: Universidad de Los Andes, CIDIAT.

Saunders, J.F. & Lewis, W.M., Jr. (1988). Transport of phosphorus, nitrogen, and carbon by the Apure River, Venezuela. *Biogeochemistry*, 5: 323-342.

Silva, G.A. (2000). Historia resumida de la hidrología venezolana. *Rev. Geog. Venez.* 41: 139-166.

Soto, L.; López, C. y Bello, C. (1994). Química del agua del embalse Socuy, Estado Zulia, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas,* 28: 1–21.

Toro, D. (2012). *Estudio de la calidad química y tipos de aguas subterráneas en la zona sur-oriental de la Isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta, Venezuela.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 155 pp.

Torrealba, R. (2016). *Evaluación hidrogeoquímica y geofísica de las aguas subterráneas del Acuífero Licua, Municipio Crespo, edo. Lara.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 160 pp.

Traviezo Valles, L.; Dávila, J.; Rodríguez, R.; Perdomo, O. y Pérez, J. (2004). Contaminación entero-

parasitaria de lechugas expendidas en mercados del estado Lara, Venezuela. *Parasitología Latinoamericana,* 59: 167-170.

Trujillo, A.; Cárdenas de Flores, C.H.; Valbuena, M.; Herrera, L.; Araujo, I. y Saules, L. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en el trópico mediante lagunas de estabilización y su reúso para riego agrícola.* Memorias del XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) / Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABESA).

Universidad Central de Venezuela (UCV), Universidad Simón Bolívar (USB) y Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) (2014). Encuestas sobre Condiciones de Vida en Venezuela 2014. Disponible en línea: http://www.rectorado.usb.ve/vida/presentaciones Consultado: junio de 2017.

Universidad Central de Venezuela (UCV), Universidad Simón Bolívar (USB) y Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) (2015). Encuestas sobre Condiciones de Vida en Venezuela 2015. Disponible en línea: http://www.rectorado.usb.ve/vida/node/58 Consultado: junio de 2017.

US Department of Agriculture (USDA) (1954). Diagnosis and Improvement of Alkali Solis. Washington (DC). *Agriculture Handbook* N° 60.

Vargas, M.J.; López, C.; Montero, R. y Benavides, A. (1997). *Factores Fisiográficos que afectan la Composición Química de la Aguas Subterráneas de Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela.* VIII Congreso Geológico Venezolano. Tomo II, pp. 485-491.

Vegas, D.S. (2016). *Estudio hidrogeoquímico y de la calidad de las aguas subterráneas a partir del método estadístico* fuzzy set *en la cuenca del río Palmar, Municipio Rosario de Perijá, estado Zulia.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 157 pp.

Vila, P. (1960). *Geografía de Venezuela. 1. El territorio nacional y su ambiente físico.* Caracas: Ministerio de Educación, Depto. de Publicaciones, Dirección de Cultura y Bellas Artes. 454 pp.

Villafañe, R.; Abarca, O.; Azpúrua, M.; Ruíz, T. y Dugarte, J. (1999). Distribución espacial de la salinidad en los suelos de Quíbor y su relación con las limitaciones de drenaje y la calidad de agua. *Bioagro*, 11(2): 43-50.

Villafañe, R.; De León, N.; Camachos, F.; Ramírez, R. y Sánchez, L. (2004). Acumulación y lavado de sales en columnas de suelo regadas con agua salina procedente de un pozo petrolero. *Agronomía Tropical,* 54(1): 93-120.

Weibezahn, F. (1985). *Concentraciones de especies químicas disueltas y transporte de sólidos suspendidos en el alto y medio Orinoco y sus variaciones estacionales (febrero 1984-febrero 1985).* Proyecto Ecosistema Orinoco (PECOR). Informe de resultados. Convenio USB-MARNR-PDVSA. Caracas. 229 pp.

Weibezahn, F. (1990). Hidroquímica y sólidos suspendidos en el alto y medio Orinoco. En: F. Weibezahn, H. Álvarez y W.M. Lewis (eds.). *El Río Orinoco como ecosistema.* Caracas: Editorial Galac. pp. 151-210.

Weibezahn, F.M.; Volcán, J.M.; González, A. y Reyes, F. (1970). Estudio morfométrico e hidrográfico de dos lagunas en los Andes de Venezuela. *Boletín Soc. Ven. Cienc. Nat.,* 28: 447-455.

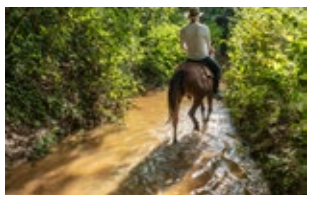
Zambrano, F. (1999). *Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en el Estado Táchira.* Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 209 pp.

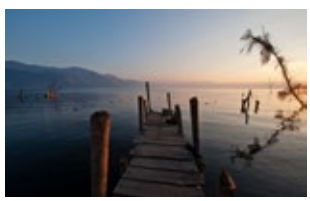
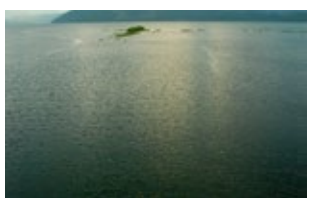
Zérega, L.; Hernández, T. y Valladares, J. (1991). Caracterización de suelos y aguas afectadas por sales en zonas cañameleras de Azucarera Río Turbio. *Caña de Azúcar,* 9(1): 5-52.

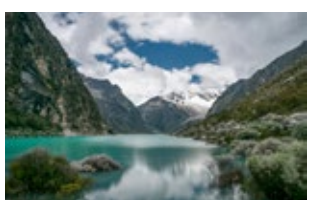
Calidad del Agua en las Américas

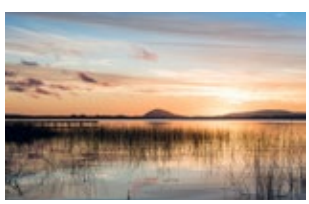
Riesgos y Oportunidades

ISBN: 978-607-8379-33-0







UNESCO
Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Programa Hidrológico Internacional

IANAS
INTERAMERICAN NETWORK OF ACADEMIES OF SCIENCES

iap SCIENCE RESEARCH HEALTH
the interacademy partnership

CODIA