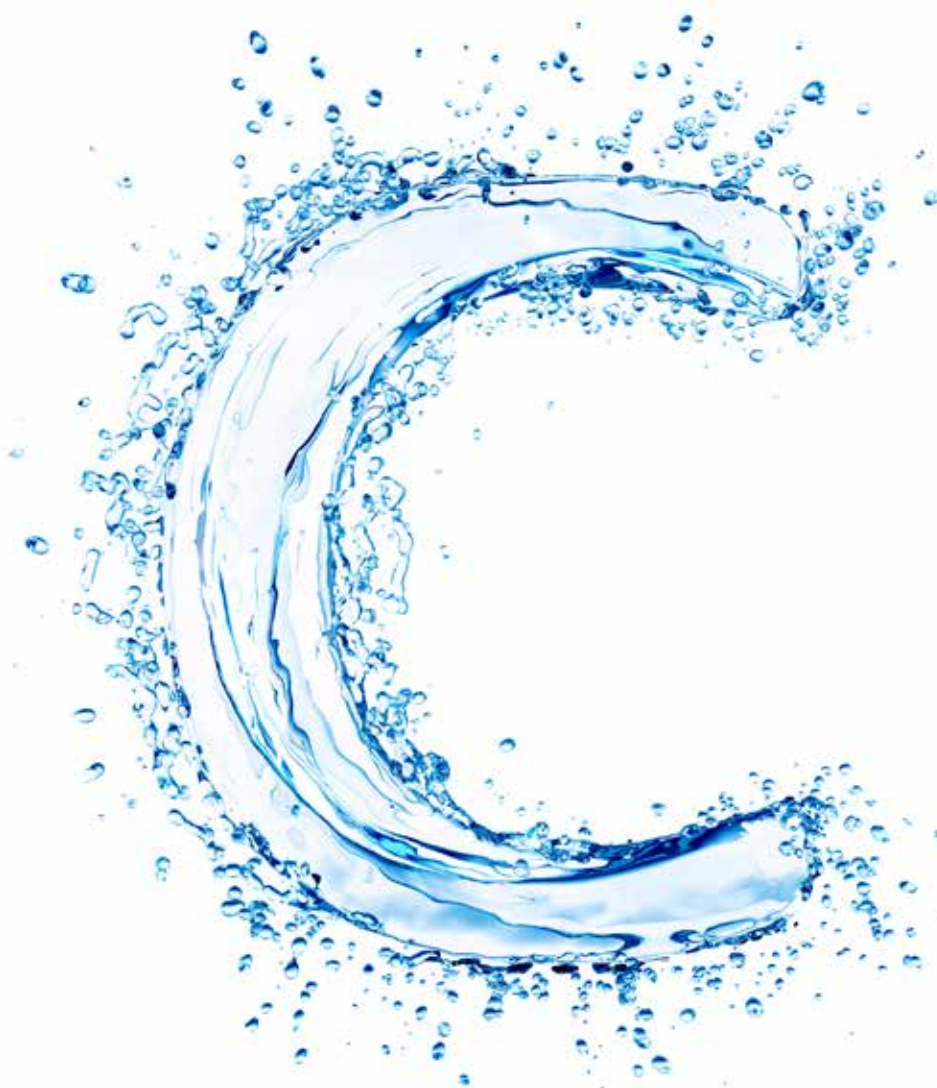


Calidad del Agua en las Américas

Riesgos y Oportunidades



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



Programa
Hidrológico
Internacional



INTERAMERICAN NETWORK OF ACADEMIES OF
S C I E N C E S



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, Henry 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



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.

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 m³ 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 m³ 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** elizabethp@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** acornej@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 130 373,47km² y de esta superficie 10 034km² 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 km². 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 Paleozoi-

co, 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 km². 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 km²) 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 km² (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*.

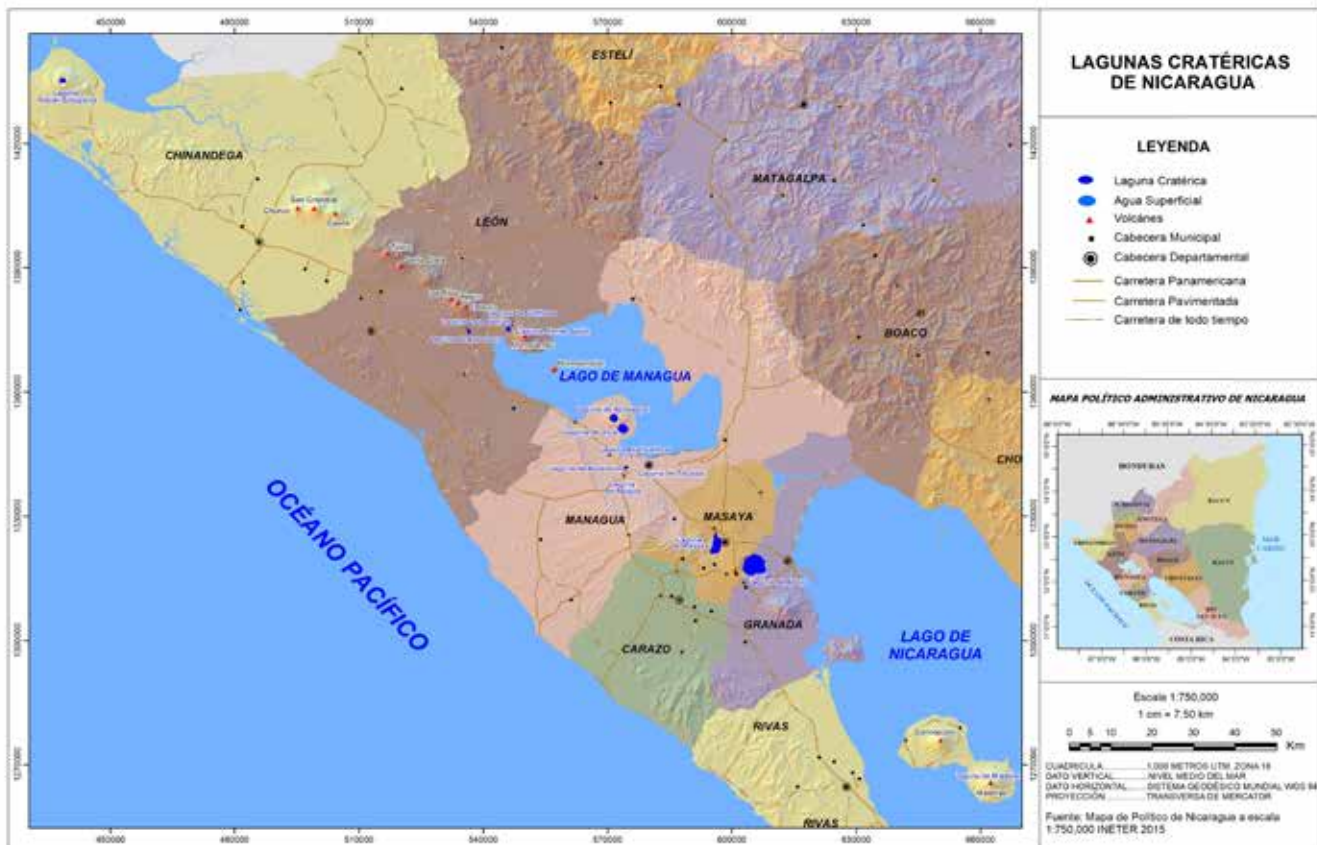
La calidad de los recursos hídricos de Nicaragua ha sido sometida a diferentes tensores que incluyen:

- 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 ($0,87 \text{ mg.l}^{-1}$ - $1,17 \text{ mg.l}^{-1}$) 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 $0,542 \text{ mg.l}^{-1}$ - $1,038 \text{ mg.l}^{-1}$; luego de analizar el estado trófico (resultado de análisis del estado trófico por Carlson, *Eutrófico*; resultado por Toledo, *Hipertrófico*) (calculado por A. Baldano y K. Vammen, con datos facilitados por CSRSR-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 $1121,21 \text{ mg.l}^{-1}$) 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 $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ 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 ($5 \mu\text{g.l}^{-1}$) (CCME, 2007), observados en resultados de monitoreo de CIRA/UNAN de 2008 con concentraciones que varían de $19,59 \mu\text{g.l}^{-1}$ a $56,18 \mu\text{g.l}^{-1}$ y en 2011 con un rango de concentraciones de $18,8$ a $25,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ (CIRA/UNAN, 2008; CIRA/UNAN, 2011). También Parello *et al.* (2008) reportan concentraciones entre $24,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ a $31,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ 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 $1,13 \text{ mg.l}^{-1}$ - $2,05 \text{ mg.l}^{-1}$ y CIRA/UNAN (2008) con un promedio de $2,42 \text{ mg.l}^{-1}$. 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 Xolotlán 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.

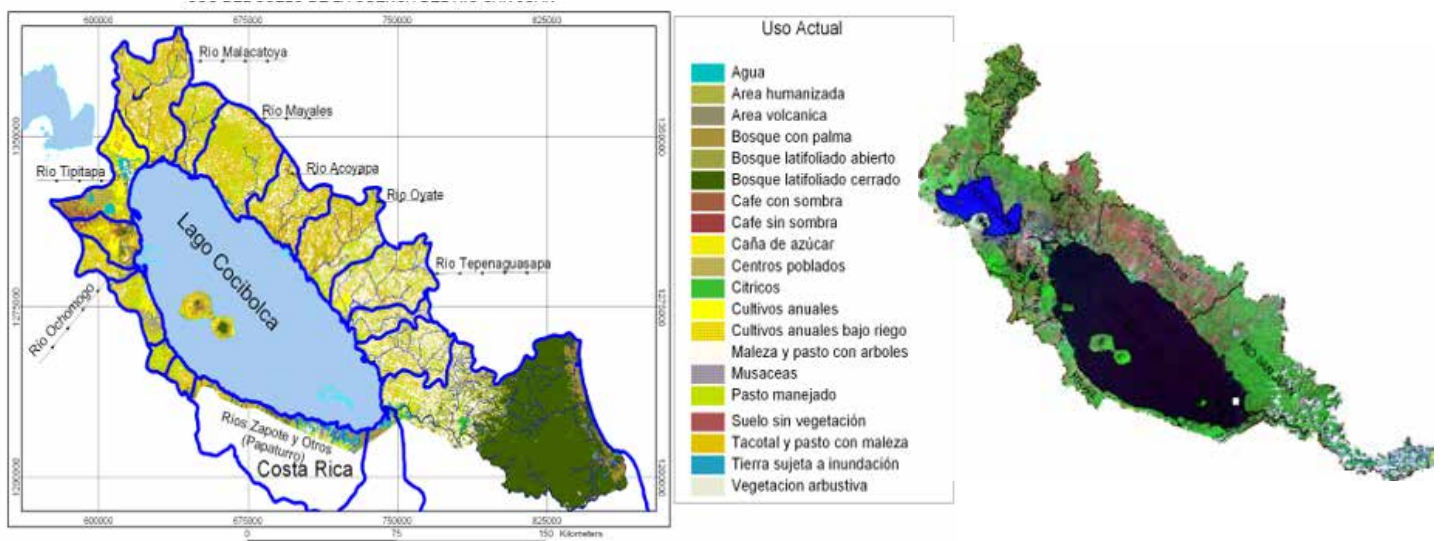
Este cambio de uso de suelo ilustrado en interacción con las características geológicas volcánicas y suelos promueven un aumento en los procesos de erosión en la cuenca, lo que conduce a más sedimentación a los tributarios del lago e impulsa la aceleración de eutrofización en el lago (Vammen, 2006).

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. Vam-

men, 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 cuen-

ca que consiste en el arrastre y colmatación de sedimentos debido al deterioro de su área de drenaje (23.10km²) y su utilización como receptor de aguas pluviales, así como domésticas y desechos sólidos provenientes y arrastrados desde los cauces urbanos 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 pérdida de profundidad.

La **Laguna de Masaya**, ubicada en la ciudad de Masaya, es la segunda más extensa (8,8km²) 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 aguas 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 ($1,2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) 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 Cratélicas (MARENA, 1999) establece que no se permiten en las lagunas cratélicas, directa o indirectamente, aguas residuales tratadas o no tratadas, de origen doméstico, industrial o agrope-

cuario, ni la canalización de aguas pluviales que lleven desechos sólidos, lo que ilustra que no ha sido implementado en esta laguna cratélica.

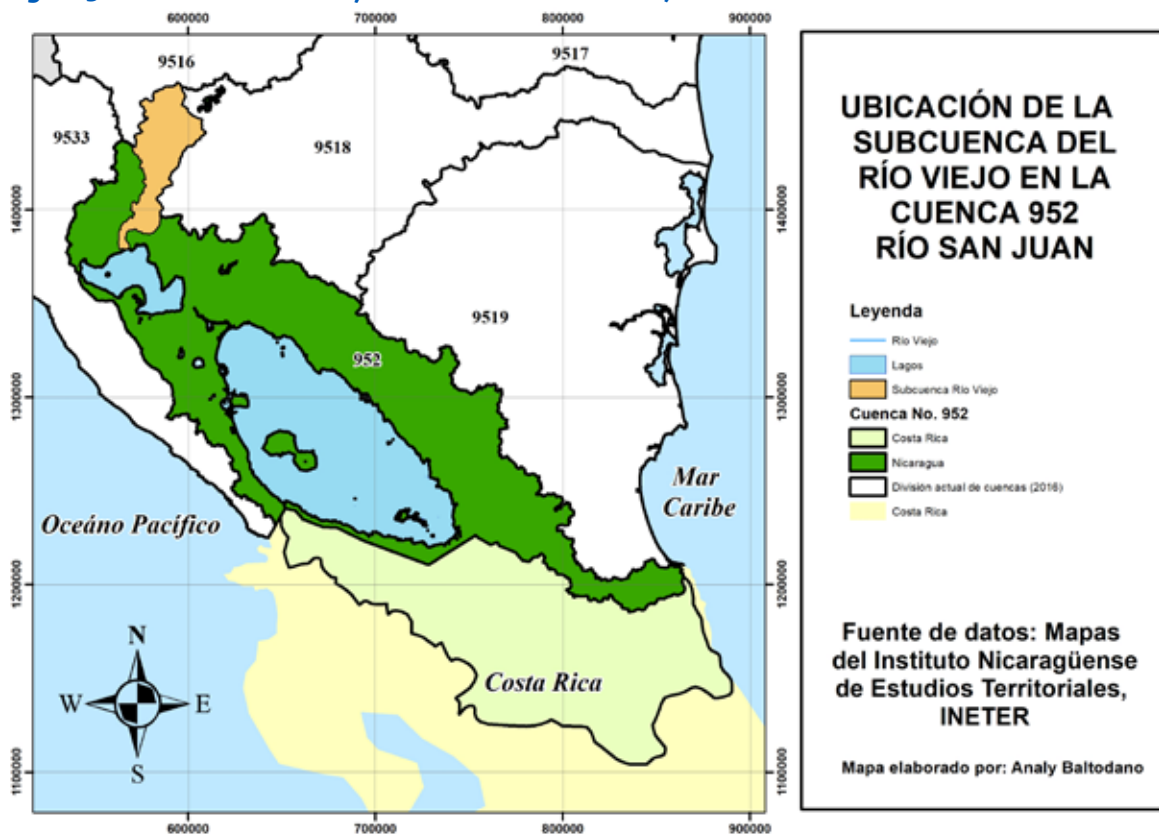
Un estudio paleolimnológico (Fuentes, 2015), que involucró el fechamiento de los sedimentos (correspondiente a 130 años), mostró la sedimentación hacia la laguna fuertemente en aumento desde los años 60 con la última década, registrando los máximos al aporte de sedimentos al fondo. Se analizó con el 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 $1\,553\text{km}^2$ 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 m³/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 camaricultura 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.

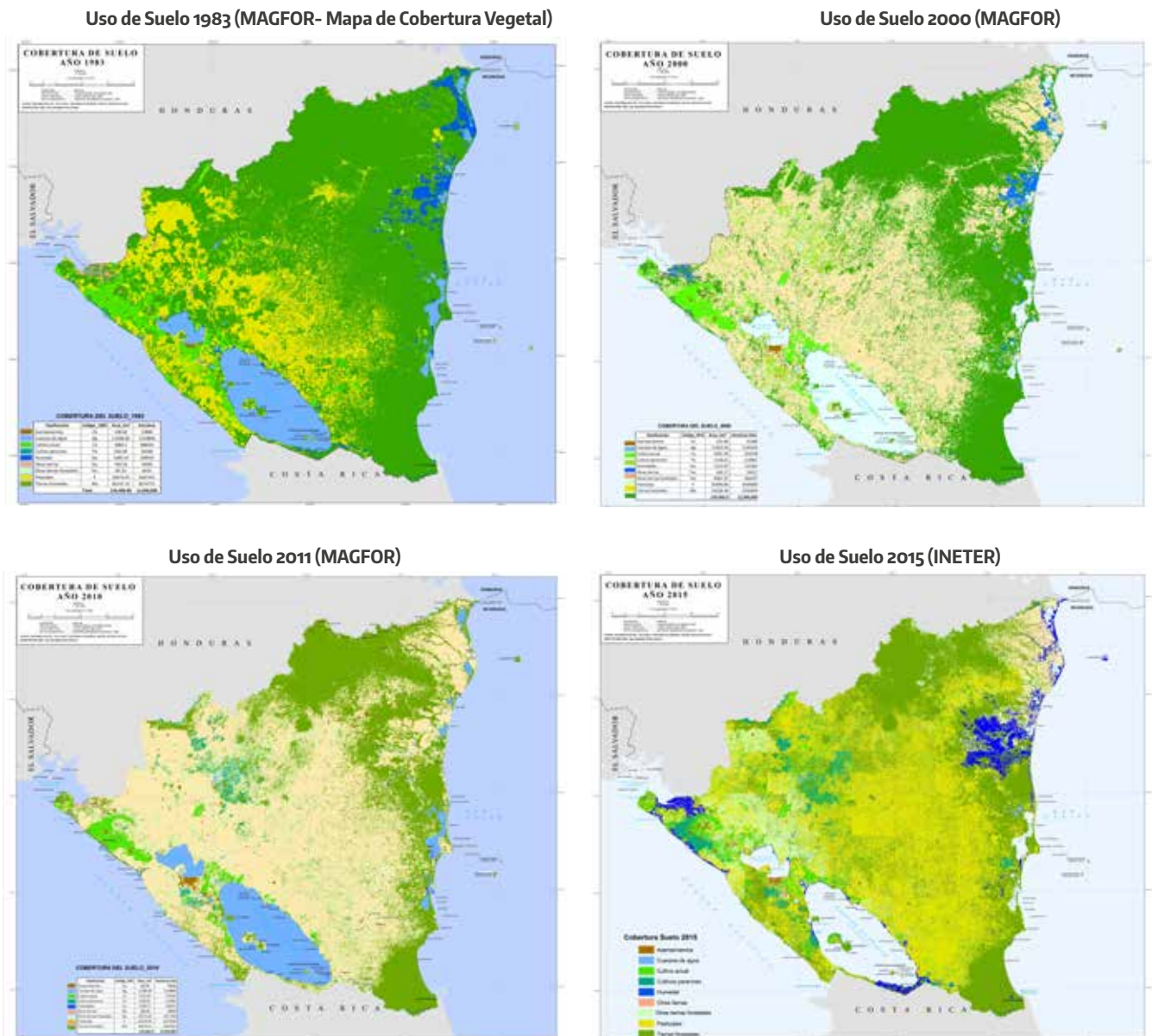
La calidad microbiológica del agua de los esteros Padre Ramos, Aserradores y el Realejo, ubicados en la región occidental, resultó ser afectada por la escorrentía que arrastra materia fecal depositada en los pastizales, los establos y por las letrinas mal construidas y ubicadas en las comunidades cercanas 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



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/silvo-pastoril) 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 km² pasan en

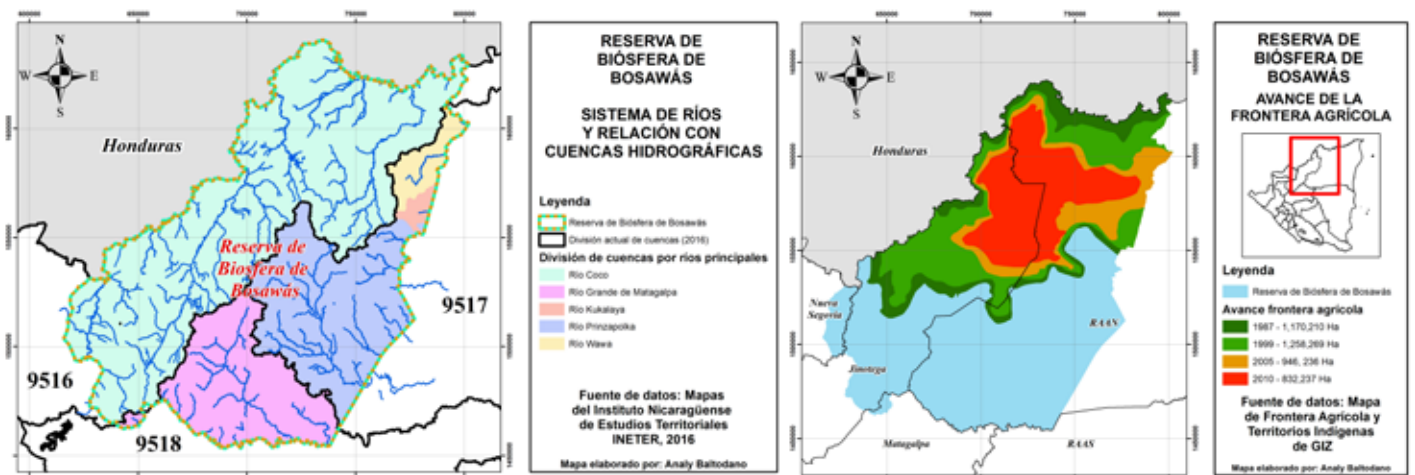
2015 a 45,730 km²) de un total de 19,265,55 km²; de igual manera, en los cultivos (perennes y anuales) pasa de 5717 km² en 1983 a 7643 km² en 2015 con un aumento en área total de 1926 km². Como consecuencia, estos cambios han generado una disminución importante en las áreas forestales pasando de 82,147 km² en 1983 a 51,517 km² en 2015, con una pérdida de cobertura del área forestal en tres décadas de 30,630.16 km².

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 (19,926km²), 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 400km² 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 m³ de sedimentos anualmente) (PARH, 1996) desde su cuenca (superficie de 11 517km²). 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 ²¹⁰Pb. 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

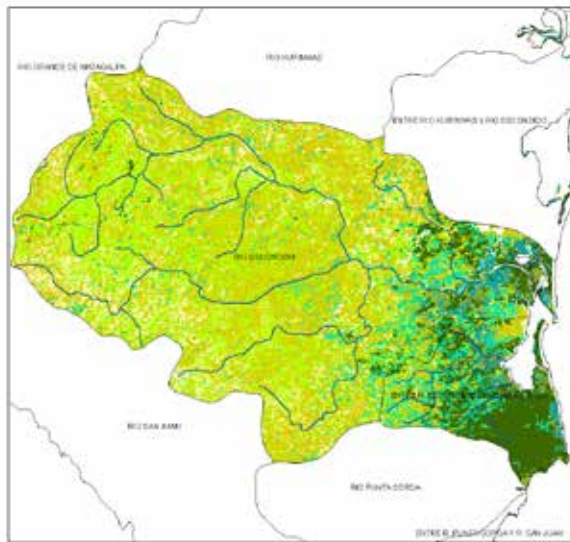
Actualmente, las aguas subterráneas son la fuente principal para agua potable en Nicaragua. El 68% de las fuentes de agua utilizadas para asegurar el suministro y consumo humano de agua en las zonas urbanas de Nicaragua es de origen subterráneo y 70% del total para uso doméstico (IANAS, 2015). Por ejemplo, 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

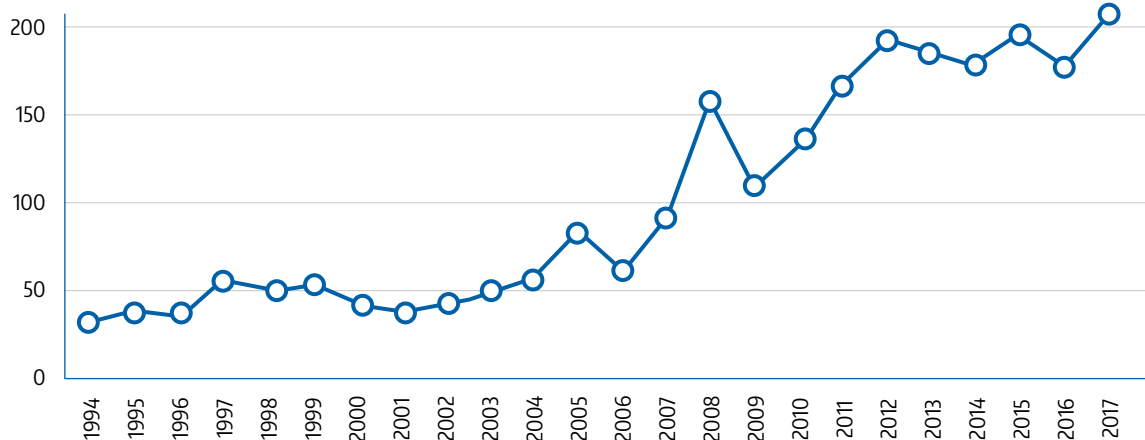


Fuente: MARENA, 2002.



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

mucho más 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 Xolotlán.

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 m³/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 m³/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 m³. 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, suprir 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 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 acuicultura. 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 sequía 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 busquen 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 10 µg/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 uveítis (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 (MINSAL, 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 (MINSAL, 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 aquella, 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 urbanas 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 va-

lores 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. (LA-QUISA) y Universidad de Ingeniería (UNI); de igual manera, la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL) y el Ministerio de Salud (MINSAL).

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 basadas 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 específica-

mente 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 **buen 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 sequía 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-adeuada.
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). *El 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/biblioteca/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/\(\\$All\)/138A846C-29F5F0760625717900509FA4?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/138A846C-29F5F0760625717900509FA4?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 N° 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 julio 2017). *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 Mapeo Hidrogeológico 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 Cratélicas*. NTON 05 002-99. Managua: MARENA. Recuperado de: [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/\(\\$All\)/3C-9CE07C25D44E18062573F3005F43BA?OpenDocument893](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/3C-9CE07C25D44E18062573F3005F43BA?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/\(\\$All\)/3D7B0C9BF-4C186790625764E005D16F4?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/3D7B0C9BF-4C186790625764E005D16F4?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/\(\\$All\)/68722115E0E27F50062573610072A1A-B?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/68722115E0E27F50062573610072A1A-B?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/bb90a-5bb646d50906257265005d21f8/f124ab4e19e-485950625728a005c2c3f?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/\(\\$All\)/B648272FD35AB-76D062577A6005C6332?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/B648272FD35AB-76D062577A6005C6332?OpenDocument)
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018). *Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano que incorpora la primera agenda*. 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/218/2/1Simp0-042.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.log-cluster.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_recursohidricos_cep.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?sequence=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