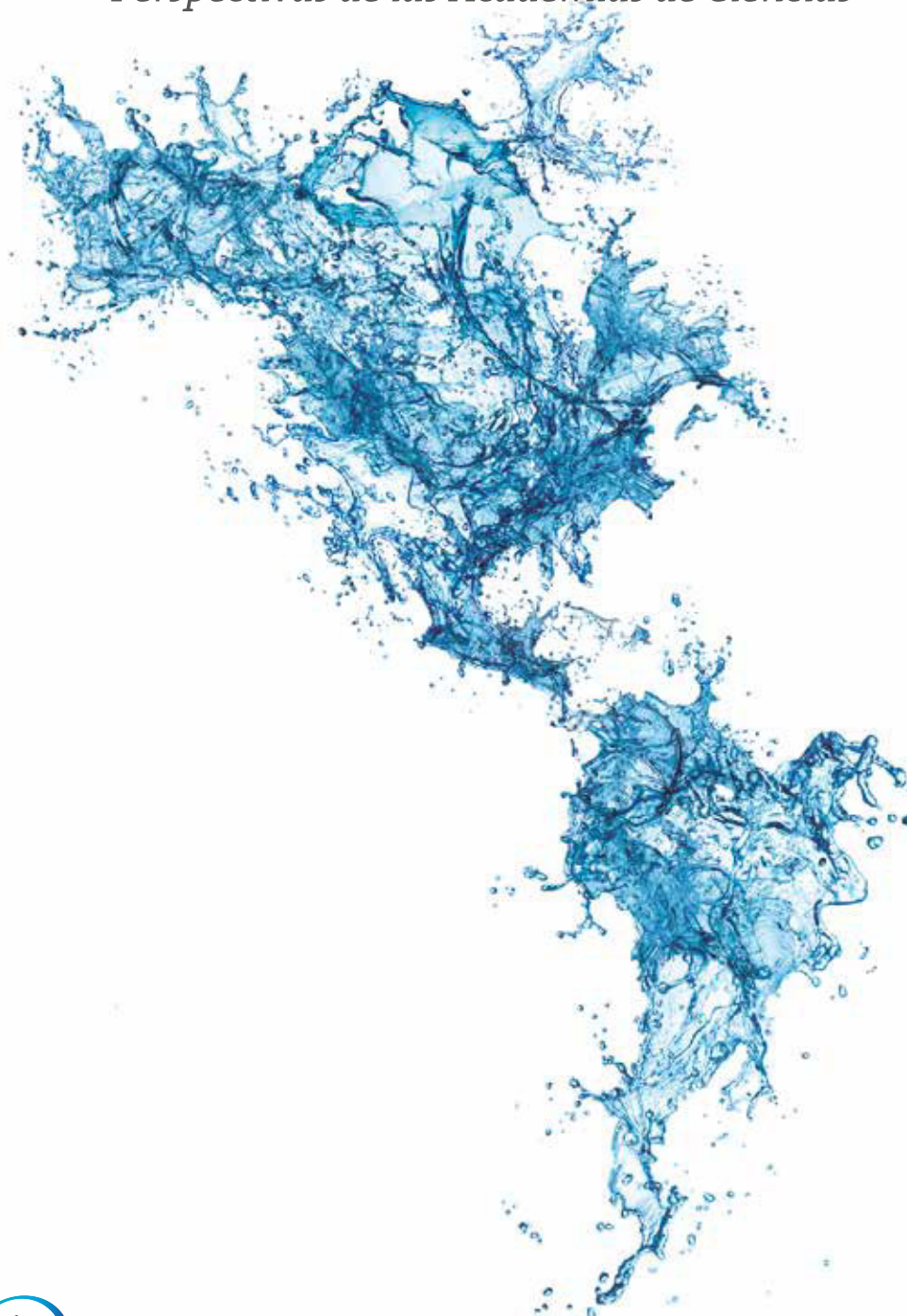


DESAFÍOS DEL **AGUA URBANA** EN LAS **AMÉRICAS**

Perspectivas de las Academias de Ciencias



DESAFÍOS DEL
AGUA URBANA
EN LAS AMÉRICAS

Perspectivas de las Academias de Ciencias

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: **Michael Clegg** (Estados Unidos) y **Juan Asenjo** (Chile).
Directora Ejecutiva: **Adriana de la Cruz Molina**

Coordinación Editorial

Katherine Vammen y Adriana de la Cruz Molina

Programa de Agua de IANAS

Co-Chairs: **Katherine Vammen** (Nicaragua), **Blanca Jiménez** (México) y Co-Chair Honorario: **Jose Tundisi** (Brasil)

Comité Editorial

Gabriel Roldán (Colombia), **María Luisa Torregrosa** (México),
Katherine Vammen (Nicaragua), **Ernesto J. González** (Venezuela),
Claudia Campuzano (Colombia), **Hugo Hidalgo** (Costa Rica) y
Adriana de la Cruz Molina (México)

Corrección de estilo

Ma. Areli Montes Suárez y autores de los capítulos

Traducción

Suzanne D. Stephens (Argentina, Chile, México, Canadá, Honduras, Panamá, Costa Rica, República Dominicana, Perú y Toronto) y **Alejandra Huete** (Cuba y El Salvador)

Diseño gráfico

Víctor Daniel Moreno Alanís
Francisco Ibrahim Meza Blanco

Diseño de portada

Francisco Ibrahim Meza Blanco

Apoyo de diseño gráfico

Osiris López Aguilar, **Mariana Guerrero del Cueto**,
Tania Zaldivar Martínez, y **Roberto Flores Angulo**

Apoyo administrativo

Verónica Barroso
Luis Arturo Dassaev

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, Distrito Federal, Mexico y por United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France, the UNESCO Office in Montevideo, Edificio Mercosur, Luis Pereira 1992, 20 piso, casilla de correo 859, 11200 Montevideo, Uruguay.

© IANAS y UNESCO 2015

IANAS ISBN en trámite

Impreso en México



Esta publicación está disponible en <http://www.ianas.org/index.php/books> y Open Access under the Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) licencia (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>). 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 no implican la expresión pública o de opinión de ninguna forma de la UNESCO en relación con la condición legal de ningún 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 o de UNESCO y no comprometen a la organización.

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

DESAFÍOS DEL **AGUA URBANA** EN LAS **AMÉRICAS**

Perspectivas de las Academias de Ciencias



Miembros de las Academias de Ciencias

Argentina

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina
www.ancefn.org.ar
Roberto L.O. Cignoli, Presidente

Brasil

Academia Brasileira de Ciencias
www.abc.org.br
Jacob Palis, Presidente

Bolivia

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

Canadá

La Royal Society of Canadá: Las Academias de Artes, Humanidades y Ciencias de Canadá
<https://rsc-src.ca/en/>
Graham Bell, Presidente

Caribe

Academia de Ciencias del Caribe (Redes Regionales)
www.caswi.org
Trevor Alleyne, Presidente

Chile

Academia Chilena de Ciencias
www.academia-ciencias.cl
Juan Asenjo, Presidente

Colombia

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

Costa Rica

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

Cuba

Academia de Ciencias de Cuba
www.academiaciencias.cu
Ismael Clark Arxer, Presidente

República Dominicana

Academia de Ciencias de la República Dominicana
www.academiadecienciasrd.org
Milcíades Mejía, Presidente

Ecuador

Academia de Ciencias del Ecuador
<http://www.academiadecienciasecuador.org>
Carlos Alberto Soria, Presidente

Guatemala

Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala
www.interacademies.net/Academies/ByRegion/LatinAmericaCaribbean/Guatemala/
Enrique Acevedo, Presidente

Honduras

Academia Nacional de Ciencias de Honduras
www.guspepper.net/academia.htm
Gustavo A. Pérez, Presidente

México

Academia Mexicana de Ciencias
www.amc.unam.mx
Jaime Urrutia, Presidente

Nicaragua

Academia de Ciencias de Nicaragua
www.cienciasdenicaragua.org
Manuel Ortega, Presidente

Panamá

Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia
www.apanac.org.edu.pa
Jorge Motta, Presidente

Perú

Academia Nacional de Ciencias del Perú
www.ancperu.org
Ronald Woodman Pollitt, Presidente

Estados Unidos de América

Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos
www.nasonline.org
Ralph J. Cicerone, Presidente

Uruguay

La Academia Nacional de Ciencias de la República Oriental del Uruguay
www.anciu.org.uy
Rodolfo Gambini, Presidente

Venezuela

Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela
www.acfiman.org.ve
Claudio Bifano, Presidente

Puntos Focales sobre Agua de IANAS

Argentina

Raúl A. Lopardo
Instituto Nacional del Agua

Bolivia

Fernando Urquidi
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

Brasil

José Galizia Tundisi
Instituto Internacional de Ecología

Canadá

Banu Ormeci
Universidad de Carleton

Grenada

Martin ST. Clair Forde
Universidad de St. George, Grenada

Chile

James McPhee
Centro Avanzado de Tecnología para la Minería
Universidad de Chile

Colombia

Gabriel Roldán
Academia Colombiana de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales

Costa Rica

Hugo Hidalgo
Universidad de Costa Rica

Cuba

Daniela Mercedes Arellano Acosta
Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia,
Tecnología y Medio Ambiente, Havana, Cuba

República Dominicana

Osiris de León
Comisión de Ciencias Naturales y Medio Ambiente
de la Academia de Ciencias

El Salvador

Julio César Quiñones Basagoitia
Miembro de la Asociación Mundial para el Agua

Guatemala

Manuel Bastarrechea
Academia de Ciencias Médicas,
Físicas y Naturales de Guatemala

Honduras

Marco Blair
Academia Nacional de Ciencias de Honduras

México

María Luisa Torregrosa
Facultad Latinoamericana
de Ciencias Sociales, FLACSO

Nicaragua

Katherine Vammen
Centro para la Investigación
en Recursos Acuáticos de Nicaragua,
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

Panamá

José R. Fábrega
Centro de Investigaciones Hidráulicas e
Hidrotécnicas Universidad Tecnológica de Panamá

Perú

Nicole Bernex
Centro de Investigación en Geografía Pontificia
Universidad Católica del Perú

Uruguay

Daniel Conde
Facultad de Ciencias
Universidad de la República

EE.UU.

Henry Vaux
Universidad de California

Venezuela

Ernesto J. González
Facultad de Ciencias de la Universidad
Central de Venezuela

Coordinadores y autores

Argentina

Raúl Antonio Lopardo
Instituto Nacional del Agua

Jorge Daniel Bacchiega
Instituto Nacional del Agua

Luis E. Higa
Instituto Nacional del Agua

Bolivia

Fernando Urquidi-Barrau
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

Brasil

José Galizia Tundisi
Instituto Internacional de Ecología

Carlos Eduardo Morelli Tucci
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Fernando Rosado Spilki
Centro Universitario Feevale

Ivanildo Hespanhol
Universidade de São Paulo

José Almir Cirilo
Universidade Federal de Pernambuco

Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl
Academia Brasileña de Ciencias

Natalia Andricioli Periotto
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

Canadá

Banu Örmeci
Universidad de Carleton

Michael D'Andrea
Gestión de Infraestructuras de Agua de Toronto

Chile

James McPhee
Centro Avanzado de Tecnología
para la Minería, Universidad de Chile

Jorge Gironás
Escuela de Ingeniería Pontificia
Universidad Católica de Chile

Bonifacio Fernández
Escuela de Ingeniería Pontificia
Universidad Católica de Chile

Pablo Pastén
Departamento de Hidráulica y Medio Ambiente
Pontificia Universidad Católica de Chile

José Vargas
Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica

Alejandra Vega
Pontificia Universidad Católica de Chile

Sebastián Vicuña
Centro de Cambio Global UC

Colombia

Gabriel Roldán
Academia Colombiana de Ciencias
Exactas Físicas y Naturales

Claudia Patricia Campuzano Ochoa
Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia

Luis Javier Montoya Jaramillo
Universidad Nacional de Colombia-Medellín

Carlos Daniel Ruiz Carrascal
Escuela de Ingeniería de Antioquia

Andrés Torres
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Jaime Lara-Borrero
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Sandra Lorena Galarza-Molina
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Juan Diego Giraldo Osorio
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Milton Duarte
Grupo de Investigación
Ciencia e Ingeniería del Agua

Sandra Méndez-Fajardo
Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá

Costa Rica

Hugo G. Hidalgo
Universidad de Costa Rica

Ángel G. Muñoz
Instituto Internacional de Investigación para el
Clima y la Sociedad de la Universidad de Columbia

Carolina Herrero
Ph-C Ingenieros Consultores

Eric J. Alfaro
Universidad de Costa Rica, Escuela de Física

Natalie Mora
Universidad de Costa Rica, Escuela de Física

Víctor H. Chacón
Municipalidad de Pérez Zeledón, C.N.E.

Darner A. Mora
Laboratorio Nacional de Aguas

Mary L. Moreno
Centro Internacional de Política Económica
para el Desarrollo Sostenible de la Universidad
Nacional de Costa Rica

Cuba

Daniela de las Mercedes Arellano Acosta
Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y
Microbiología, La Habana, Cuba

L.F. Molerio-León MSc.
GRANIK HOLDINGS Ltd.
(República Dominicana)

Eduardo O. Planos Gutiérrez
Instituto de Meteorología de Cuba

República Dominicana

Osiris de León
Comisión de Ciencias Naturales y Medio Ambiente
de la Academia de Ciencias

El Salvador

Julio Cesar Quiñones Basagoitia
Miembro de la Asociación Mundial para el Agua

Grenada

Martin ST. Clair Forde
Universidad de St. George, Grenada

Brian P. Neff
Universidad de St. George, Grenada

Guatemala

Manuel Basterrechea
Academia de Ciencias Médicas,
Físicas y Naturales de Guatemala

Carlos Roberto Cobos
Centro de Investigación en Ingeniería

Juan Carlos Fuentes
Instituto Nacional de Electrificación

Norma Edith Gil Rodas de Castillo
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura CEMA
Universidad de San Carlos, USAC-Guatemala

Jeanette Herrera de Noack
Alianza Mundial de Derecho Ambiental

Ana Beatriz Suárez
Laboratorio Ecológico y Químico, S.A.

Honduras

Marco Antonio Blair Chávez

Academia Nacional de Ciencias de Honduras

Manuel Figueroa

Academia Nacional de Ciencias de Honduras

México

María Luisa Torregrosa y Armentia

Investigadora en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales-FLACSO

Blanca Jiménez-Cisneros

División de Ciencias del Agua y Secretaría de la Organización de las Naciones Unidas para el trabajo conjunto en las áreas educativas, científicas y culturales

Jacinta Palerm

Postgrado, México-COLPOS (Colegio de Posgraduados)

Ricardo Sandoval Minero

Sextante Servicios de Consultoría, S.C.

Karina Kloster

Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Poliopetro F. Martínez Austria

Universidad de las Américas, Puebla

Jordi Vera Cartas

Fondo Golfo de México A.C.

Ismael Aguilar Barajas

Instituto Tecnológico de Monterrey

Nicaragua

Katherine Vammen

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Yelba Flores Meza

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Selvia Flores Sánchez

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Iris Hurtado García

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Mario Jiménez García

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Francisco J. Picado Pavón

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Gustavo Sequeira Peña

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN)

Panamá

José Rogelio Fábrega Duque

Universidad Tecnológica de Panamá

Miroslava Morán Montaña

Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC)

Elsa Lilibeth Flores Hernández

Universidad Tecnológica de Panamá

Icela Ibeth Márquez Solano de Rojas

Universidad Tecnológica de Panamá Fundación Universitaria Iberoamericana

Argentina Ying B

Universidad de Panamá

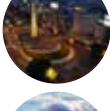
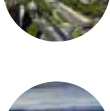
Casilda Saavedra

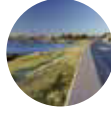
Universidad Tecnológica de Panamá

Berta Alicia Olmedo Vernaza

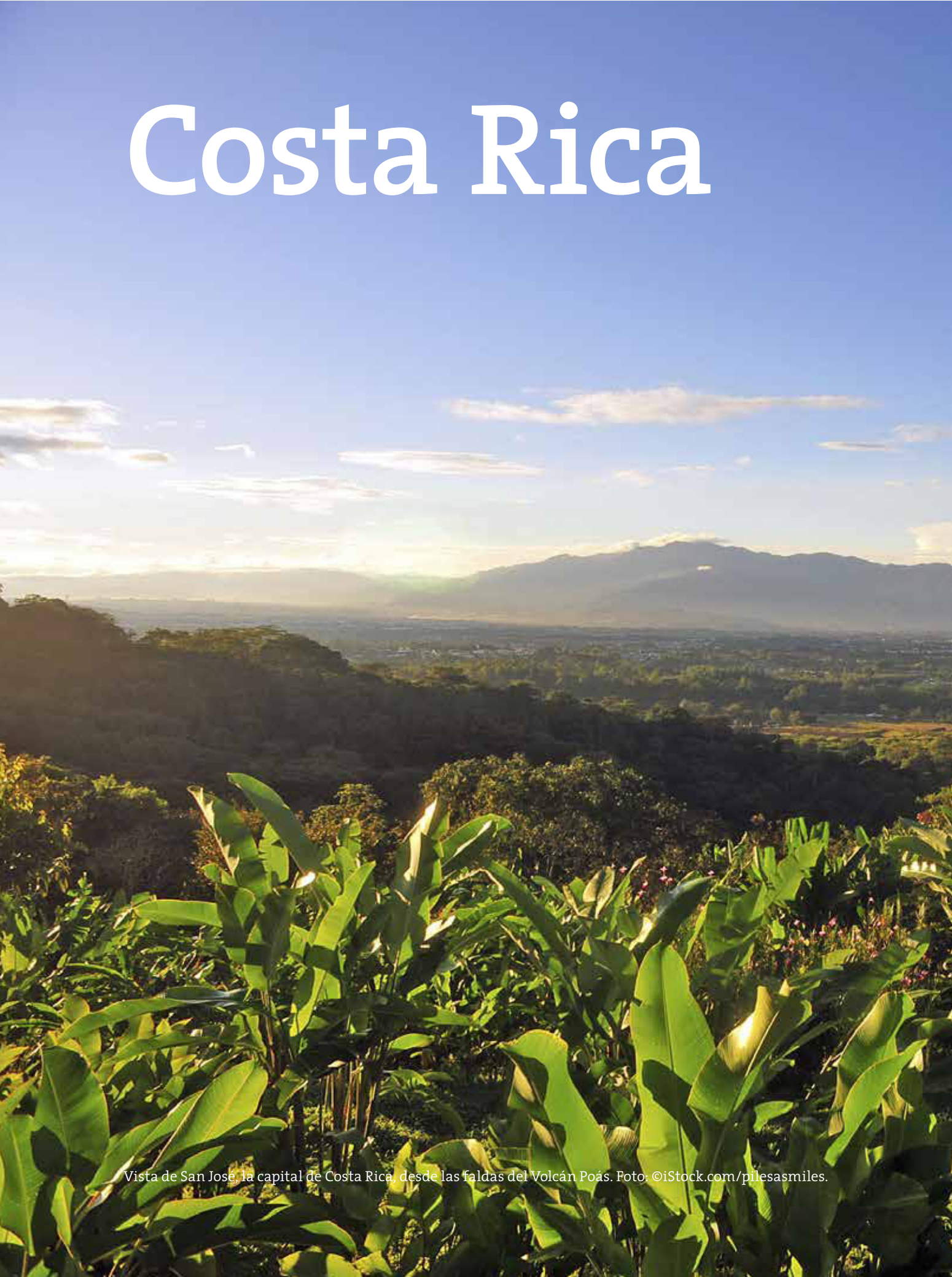
Gerencia de Hidrometeorología de ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.)

Índice

	Prólogo Michael Clegg y Juan Asenjo, Co-Chairs de IANAS	15
	Aguas urbanas en las Américas Blanca Jiménez-Cisneros, Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO	16
	El agua en las regiones urbanas José Galizia Tundisi, Instituto Internacional de Ecología de São Carlos, Brasil	19
	Un rápido vistazo Katherine Vammen, Co-Chair del Programa de Agua de IANAS	21
	El agua urbana en el continente americano: El caso de Argentina Raúl Antonio Lopardo, Jorge Daniel Bacchiega y Luis E. Higa	26
	Compendio de los recursos hídricos en las ciudades capitales de los departamentos de Bolivia Fernando Urquidí-Barrau	52
	Aguas urbanas en Brasil José Galizia Tundisi, Carlos Eduardo Morelli Tucci, Fernando Rosado Spilki, Ivanildo Hespanhol, José Almir Cirilo, Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl y Natalia Andricoli Periotto	86
	Un análisis de los recursos hídricos, su uso y tratamiento en Canadá Banu Örmeci	116
	Gestión del agua en zonas urbanas: Estudio de caso de la ciudad de Toronto Michael D'Andrea	132
	Abastecimiento de agua potable en las ciudades de Chile: Avances y desafíos pendientes James McPhee, Jorge Gironás, Bonifacio Fernández, Pablo Pastén, José Vargas, Alejandra Vega y Sebastián Vicuña	152
	Agua urbana en Colombia Coordinadores: Claudia P. Campuzano Ochoa y Gabriel Roldán. Autores: Claudia P. Campuzano Ochoa, Gabriel Roldán, Andrés E. Torres Abello, Jaime A. Lara Borrero, Sandra Galarza Molina, Juan Diego Giraldo Osorio, Milton Duarte, Sandra Méndez Fajardo, Luis Javier Montoya Jaramillo y Carlos Daniel Ruiz	174
	Aguas urbanas en Costa Rica Hugo G. Hidalgo León, Carolina Herrero Madriz, Eric J. Alfaro Martínez, Ángel G. Muñoz, Natalie P. Mora Sandí, Darner A. Mora Alvarado y Víctor H. Chacón Salazar	208
	Particularidades de la gestión de acuíferos de islas en trópicos húmedos: el ciclo del agua urbana en La Habana, Cuba Coordinadora: Daniela de las Mercedes Arellano Acosta. Autores: L.F. Molerio-León, Ma. I. González González y E.O. Planos Gutiérrez	234

	Perspectiva de las aguas urbanas en El Salvador Julio César Quiñonez Basagoitia	256
	Una visión general de la gestión urbana del agua y problemas relacionados en los Estados Unidos de América Henry Vaux, Jr.	298
	Impacto del desarrollo en el abastecimiento y saneamiento del agua en Grenada Martin S. Forde y Brian Neff	318
	Agua urbana en Guatemala Claudia Velásquez, Norma de Castillo, Jeanette de Noack, Ana Beatriz Suárez, Carlos Cobos, Juan Carlos Fuentes y Manuel Basterrechea	344
	Gestión del agua urbana en Honduras: el caso de Tegucigalpa Marco Antonio Blair Chávez y Manuel Figueroa	362
	Agua urbana en México Coordinadora: María Luisa Torregrosa. Con la colaboración de los siguientes autores: Ismael Aguilar Barajas, Blanca Jiménez Cisneros, Karina Kloster, Polioptro Martínez, Jacinta Palerm, Ricardo Sandoval y Jordi Vera	396
	Agua urbana en Nicaragua Katherine Vammen, Selvia Flores, Francisco Picado, Iris Hurtado, Mario Jiménez, Gustavo Sequeira y Yelba Flores	430
	Aguas urbanas en Panamá José R. Fábrega D., Miroslava Morán M., Elsa L. Flores H., Icela I. Márquez de Rojas, Argentina Ying, Casilda Saavedra, Berta Olmedo y Pilar López	466
	Abastecimiento de agua urbana en Perú Nicole Bernex Weiss, Víctor Carlotto Caillaux, César Cabezas Sánchez, Ruth Shady Solís, Fernando Roca Alcázar, Mathieu Durand, Eduardo Ismodes Cascón y Julio Kuroiwa Zevallos	492
	Aguas urbanas en la República Dominicana Rafael Osiris de León	522
	Aguas urbanas en Uruguay: avances y desafíos hacia una gestión integrada Coordinación y edición: Adriana Piperno, Federico Quintans and Daniel Conde. Autores: Álvaro Capandeguy, Adriana Piperno, Federico Quintans, Pablo Sierra, Julieta Alonso, Christian Chreties, Alejandra Cuadrado, Andrea Gamarra, Pablo Guido, Juan Pablo Martínez, Néstor Mazzeo, María Mena, Nicolás Rezzano, Gabriela Sanguinet, Javier Taks, Guillermo Goyenola, Elizabeth González, Julieta López, Amancay Matos, Osvaldo Sabaño, Carlos Santos, Matilde Saravia, Luis Silveira, Rafael Arocena y Luis Aubriot	542
	Agua urbana en Venezuela Ernesto José González, María Leny Matos, Eduardo Buroz, José Ochoa-Iturbe, Antonio Machado-Allison, Róger Martínez y Ramón Montero	574
	Semblanzas de los autores	621

Costa Rica



Vista de San José, la capital de Costa Rica, desde las faldas del Volcán Poás. Foto: ©iStock.com/pilesasmiles.



“El abastecimiento de agua potable en las ciudades de Costa Rica se puede considerar como bueno; sin embargo el saneamiento y en particular el tratamiento de aguas ha sido uno de los mas importantes retos en las zonas urbanas. Con la pronta puesta en operación la planta de tratamiento Los Tajos en el Gran Área Metropolitana se está dando un paso significativo a la solución del problema”

Las aguas urbanas en Costa Rica

Hugo G. Hidalgo León, Carolina Herrero Madriz,
Eric J. Alfaro Martínez, Ángel G. Muñoz,
Natalie P. Mora Sandí, Darner A. Mora Alvarado,
y Víctor H. Chacón Salazar

Resumen

Se presenta una síntesis de los principales temas relacionados con las aguas urbanas como lo son el abastecimiento, el saneamiento, la salud, las dimensiones físicas y humanas, las inundaciones y la variabilidad y cambio climático que afecta a las ciudades. En general, se encontró que salvo algunas ciudades que presentan problemas, en Costa Rica el suministro de agua es bastante bueno. Sin embargo, el saneamiento (especialmente relacionado con el tratamiento de aguas negras) es un problema que apenas se está empezando a abordar. La cobertura sanitaria en las zonas urbanas en el año 2000 era de 96%, compuesta por 34% con disponibilidad de alcantarillado sanitario y disponibilidad de tanque séptico de 62%. En 2009 se mantiene el porcentaje de que únicamente menos de 4% de las aguas recolectadas urbanas tiene tratamiento. En cuanto a la salud, mucha de la explicación de los relativos buenos indicadores en este respecto está relacionada con el sistema solidario de salud social, pero también debe darse crédito al efecto de la disponibilidad generalizada de agua potable en gran parte de las zonas urbanas. En Costa Rica los avances han sido muy satisfactorios, alcanzando en 2012 un 98% de cobertura con agua por cañería intradomiciliar y 99% con fuentes de agua potable mejoradas.

Costa Rica está influenciada por diversos fenómenos climáticos naturales de gran escala, como El Niño-Oscilación del Sur, las variaciones climáticas del Atlántico, la influencia del Centro de Convergencia Intertropical, el chorro de bajo nivel del Caribe y otros. Asimismo, durante las últimas décadas Centroamérica ha experimentado cambios en variables hidrometeorológicas que en tales tendencias sugieren orígenes antrópicos. Las tendencias en temperatura hacia noches y días más cálidos son bastante consistentes, mientras que las tendencias en precipitación (lluvia) han sido menos consistentes y claras (en unas estaciones hay tendencias positivas y, en otras, negativas). Además, en la ciudad capital de Costa Rica

(San José) y en la capital de Honduras (Tegucigalpa) se han encontrado reducciones de escorrentía superficial importantes a partir de la década de los 80, posiblemente asociados con el aumento en las pérdidas por evapotranspiración debido al incremento de las temperaturas. Las proyecciones con modelos apuntan hacia una Centroamérica más seca a final del siglo, especialmente en la parte norte (reducciones de escorrentía de alrededor de 30%), mientras que en la parte sur es menos severa (reducciones de escorrentía de 10%). Estos cambios toman más relevancia cuando se examinan a la luz de las diferencias socioeconómicas entre el norte y el sur de Centroamérica, y cuando se consideran vulnerabilidades propias de los países del área, como la dependencia de agricultura de subsistencia en algunas regiones o la vulnerabilidad de la sociedad ante eventos hidrológicos extremos. Sistemas de análisis y de pronóstico pueden ayudar a reducir estos riesgos.

1. Introducción

Aunque en términos de suministro de agua potable Costa Rica en general tiene una condición bastante buena, las ciudades costarricenses tienen los típicos problemas de las grandes urbes latinoamericanas, como lo son: déficit de suministro de aguas en algunas regiones puntuales, contaminación de ríos e inundaciones. En Costa Rica el agua es un recurso relativamente abundante, ya que en términos globales es un país con bajo estrés hídrico. Sin embargo, esas cifras nacionales esconden el problema de disponibilidad de agua en algunos lugares, especialmente en la región oeste del Gran Área Metropolitana (GAM), que comprende a San José y ciudades circundantes (Hidalgo, 2012). La contaminación de los ríos es un aspecto preocupante relacionado con el saneamiento de las ciudades, ya que los ríos urbanos en la GAM tienen concentraciones de contaminantes de varios órdenes de magnitud por encima de los recomendados. Muchos de estos problemas han persistido a través del tiempo, y ha sido difícil hacer mejoras en el sistema debido a falta de financiamiento y lo costoso que resultaría modernizarlo. Es importante, sin embargo, destacar lo que se ha hecho bien como la baja incidencia de enfermedades causadas por agua contaminada y algunos esfuerzos que se están ha-

ciendo, como la construcción de una planta de tratamiento en el GAM.

En este estudio se abordarán algunos de estos temas, así como una evaluación de los posibles efectos de cambio climático en el futuro de las ciudades. Además, se incluye una sección en la cual se indica la necesidad de evaluar integralmente aspectos físicos y sociales para determinar la vulnerabilidad de las poblaciones a la variabilidad y cambio climático.

2. Fuentes de agua en zonas urbanas y sus impactos causados por la urbanización

2.1 Servicio de agua potable en zonas urbanas

El servicio de agua potable prestado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), órgano gubernamental encargado del suministro y saneamiento de aguas, puede ser considerado, en general, como de buen nivel. Por ejemplo, el caso particular de la cobertura urbana, que alcanza valores cercanos a 99%, es un indicador que verifica esa condición. Parte de los buenos índices de salud, en comparación con otros países de la región, podría atribuirse en parte a la disponibilidad de agua potable. La infraestructura y las tecnologías de los acueductos son buenas en promedio, siendo más destacables en los sistemas de captación y producción.

La calidad del agua para consumo humano es controlada en todo su proceso por el AyA a través del Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), alcanzando niveles de potabilización significativos (AyA, 2002). Sin embargo, aunque el porcentaje de cobertura de la red de distribución de agua de agua potable es alto, existe poca confiabilidad en este servicio en algunas zonas (AyA, 2002). Esto es paradójico dado que, en promedio, Costa Rica tiene un bajo estrés hídrico, pero a nivel local existen estos problemas de abastecimiento (Hidalgo, 2012). Por ejemplo, aunque en el Área Metropolitana de San José (la capital) la producción de agua era en 2002 ligeramente menor que la demanda, este déficit ha ido creciendo a través del tiempo y afecta principalmente a las partes altas de la ciudad (AyA, 2002). Estos problemas se acentúan en algunas ciudades donde la capacidad de produc-

ción es muy cercana o es inferior a la demanda, por lo que ya tienen serios problemas en la época seca. Como parte de la solución se han venido cerrando las válvulas de salida de los tanques durante la noche y con racionamientos (AyA, 2002). Esto demuestra que la oferta de agua es insuficiente en algunos sectores, que las fugas son importantes o que los tanques de reserva son insuficientes.

En AyA (2002) se menciona que el lado débil del servicio no es la oferta hídrica, sino que está en el sis-

tema de distribución, comprobado por el alto nivel de agua no contabilizada que se estima alrededor de 59% para el Acueducto Metropolitano de San José (y de 50% para el país). De este 59%, se estima que las pérdidas comerciales son del orden de 29%, divididas en deficiencias del catastro (conexiones no registradas) del orden de 13%, falta de micromedición (conexiones sin medidor) del orden de 7% y deficiencias en la micromedición (consumos no registrados en los medidores) del orden de 7% (AyA, 2002). En resumen,

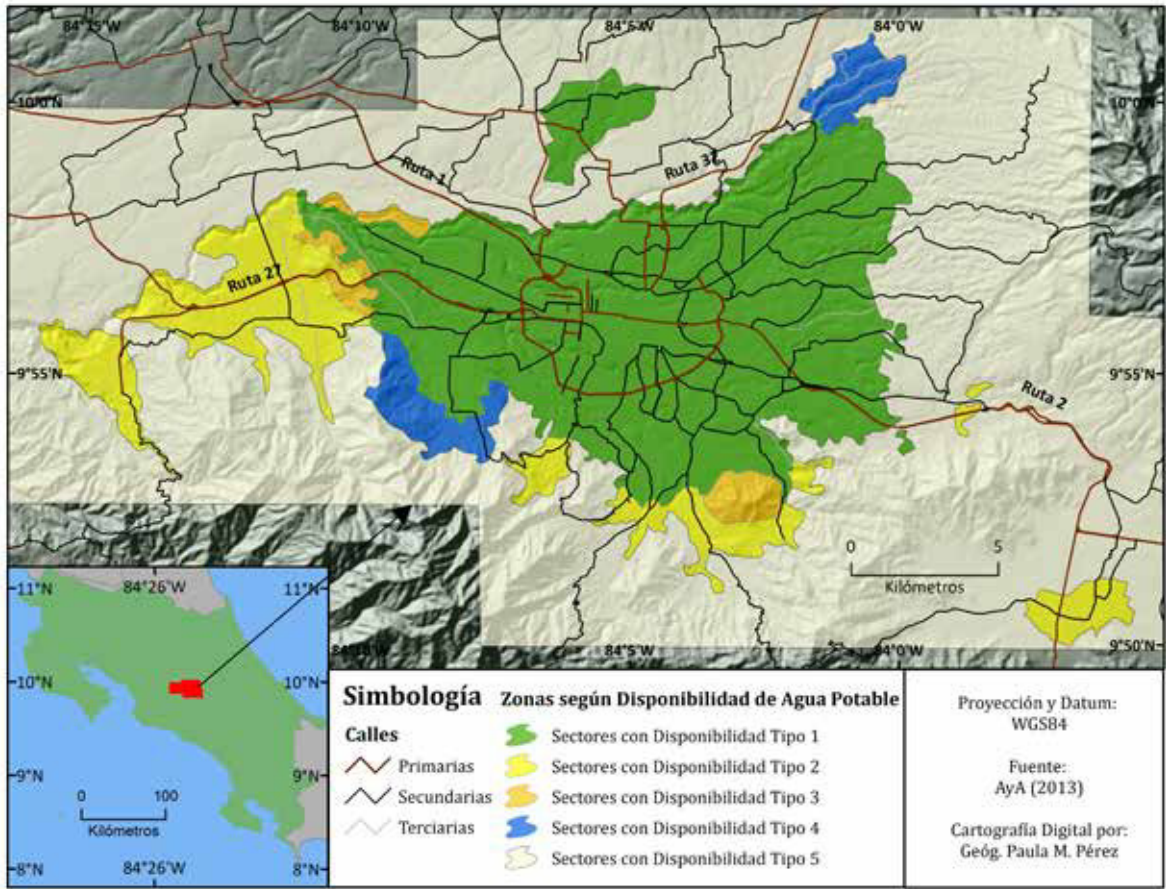
Tabla 1. Coberturas urbanas con servicios de agua y saneamiento, 2013

Area	Servicio	Población Servida (miles de hab.)	Cobertura (%)
Area urbana AyA*	Acueducto	950	99.00%
	Alcantarillado Sanitario	97	6.80%
Agua urbana Municipalidades y ESPH	Acueducto	N.D.	N.D.
	Alcantarillado Sanitario	N.D.	N.D.

*AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Somamente se considera la población que tiene la disponibilidad de servicio de agua mediante conexión a sistemas públicos de abastecimiento o acueductos.

Fuente: Jorge Aguilar Barboza, AyA (comunicación personal, 2014)

Figura 1. Zonificación referente a la disponibilidad de agua potable en diferentes subregiones



las deficiencias en el sistema están motivadas por varios aspectos entre los que se pueden mencionar las deficiencias en la estructura de las redes por el tipo y la edad de las mismas, fugas visibles en las redes y las conexiones, fugas invisibles, gestión de la operación en redes, rebalse de tanques de reserva, catastro de usuarios, catastro de redes, micromedición, macromedición y control de presiones (AyA, 2002). Como se verá luego, la situación de Costa Rica en el campo del saneamiento no es tan buena como la del abastecimiento; la cobertura del alcantarillado público es relativamente baja, se depende mucho de tanques sépticos y el tratamiento de aguas es casi nulo.

En Costa Rica la cobertura de agua para 2000, a nivel urbano (área servida por el AyA y la Empresa de Servicios Públicos de Heredia o ESPH) era del orden de 98,5% (AyA, 2004) y para 2009 alcanzó 99,5% (Arias, 2010). La cobertura sanitaria en las zonas urbanas en 2000 era de 96%, compuesta por 34% con disponibilidad de alcantarillado sanitario y disponibilidad de tanque séptico de 62% (AyA, 2004). En 2009 se mantiene el porcentaje de que únicamente menos de 4% de las aguas recolectadas urbanas tienen tratamiento (Arias, 2010). En términos de la población total (urbana más rural), en Costa Rica solo 25% es servida con alcantarillado sanitario y 80% usa tanque séptico o letrina (Arias, 2010). En la Tabla 1 se muestra la cobertura de acueductos y alcantarillados sanitarios para las regiones urbanas durante 2013. Como se puede ver, en Costa Rica la cobertura en el abastecimiento de agua en las zonas urbanas es alta, mientras que la cobertura de alcantarillado sanitario es baja. Además, el problema del uso del tanque séptico es más grave de lo que se piensa, ya que existen problemas de funcionamiento relacionados con el tipo de suelo (como baja permeabilidad), clima, características del agua a tratar, volumen de agua y otros (Arias, 2010).

El sistema productivo cubre muy ajustadamente la demanda en algunas épocas del año y, en ciertos casos, no la atiende. Sin embargo, inversiones importantes en infraestructura para aumentar la capacidad de producción de los acueductos podrían ser objetadas por parte de los organismos de crédito internacionales, si previamente no se reducen las pérdidas a niveles aceptables (AyA, 2002).

Para poder planificar el desarrollo de nuevas edificaciones, el AyA ha propuesto una zonificación referente a la disponibilidad de agua potable en di-

ferentes subregiones GAM (Figura 1) (AyA, 2013). Las diferentes zonas en la Figura 1 se detallan a continuación (ver también AyA, 2013):

- Disponibilidad Tipo 1: Sectores de abastecimiento del Acueducto Metropolitano sin restricciones para nuevos servicios, urbanizaciones, condominios residenciales, condominios comerciales, edificios de apartamentos, centros comerciales, centros educativos, hoteles y fraccionamientos. Puede ser necesaria la instalación de infraestructura o mejoras adicionales por parte de los desarrolladores o interesados.
- Disponibilidad Tipo 2: Sectores de abastecimiento del Acueducto Metropolitano en los que, por su ubicación y elevación topográfica, y por la falta de suficiente infraestructura de producción, almacenamiento y distribución de agua potable, no se permite el desarrollo de urbanizaciones, condominios residenciales, condominios comerciales, edificios de apartamentos y centros comerciales, centros educativos y hoteles. Solamente se permite el crecimiento vegetativo de nuevos servicios individuales, para vivienda unifamiliar de tipo residencial o fraccionamientos nuevos de seis o menos lotes, con frente a calle pública, y que además tenga tubería de distribución de agua potable del AyA. Para estos casos, puede ser necesaria la instalación de infraestructura o mejoras adicionales por parte de los desarrolladores o interesados.
- Disponibilidad Tipo 3: Sectores actualmente abastecidos de agua potable por el Acueducto Metropolitano, los que por la falta de suficiente infraestructura de producción, almacenamiento y distribución de agua potable, no permiten solicitudes de nuevos servicios individuales ni nuevos desarrollos de urbanizaciones, condominios residenciales, condominios comerciales, edificios de apartamentos ni centros comerciales, centros educativos ni hoteles.
- Disponibilidad Tipo 4: Sectores con restricciones para el abastecimiento de agua según lo establecido en el Acuerdo de Junta Directiva del AyA 2005-1012, y posteriores modificaciones: Se otorga disponibilidad de agua potable, únicamente para vivienda unifamiliar de tipo residencial, en lotes o parcelas existentes y en fraccionamientos nuevos con frente a calle pública actual, y que además tenga tubería de abastecimiento de

Tabla 2. Producción total anual para el año 2013 para diferentes fuentes de agua en la Gran Área Metropolitana

Sistema de Producción	Fuente de Producción	Tipo Fuente	Clasificación AyA	Producción total (m³)
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Tres Ríos	Superficial	Planta	61,660,874
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Pozo Mc. Gregor 2 (Registro)	Pozo	Pozo	642,159
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Pozo Mc. Gregor 1 (Periféricos)	Pozo	Pozo	944,269
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Pozo Vesco	Pozo	Pozo	246,154
Planta Potabilizadora Tres Ríos	Pozo Las Monjas	Pozo	Pozo	58,450
Planta Potabilizadora Guadalupe	Guadalupe	Superficial	Planta	9,087,921
Planta Potabilizadora Los Sitios	Los Sitios	Superficial	Planta	6,809,485
Planta Potabilizadora Los Sitios	Pozo La Florida	Pozo	Pozo	1,330,768
Planta Potabilizadora San Juan de Dios	San Juan de Dios Desamparados	Superficial	Planta	1,936,634
Planta Potabilizadora San Juan de Dios	Pozo Veracruz	Pozo	Pozo	60,267
Planta Potabilizadora San Antonio de Escazú	San Antonio Escazú	Superficial	Planta	2,551,857
Planta Potabilizadora Los Cuadros	Los Cuadros	Superficial	Planta	2,229,067
Planta Potabilizadora Salitral	Salitral	Superficial	Planta	1,829,319
Planta Potabilizadora San Rafael de Coronado	San Rafael Coronado	Superficial	Planta	843,644
Planta Potabilizadora San Jerónimo de Moravia	San Jerónimo Moravia	Superficial	Planta	652,653
Planta Potabilizadora Quitirrisí	Quitirrisí (1)	Superficial	Planta	516,447
Planta Potabilizadora Alajuelita	Alajuelita	Superficial	Planta	343,047
Planta Potabilizadora Mata de Plátano	Mata de Plátano	Superficial	Planta	313,285
Planta Potabilizadora Guatuso Patarrá	Guatuso Patarrá	Superficial	Planta	373,399
Planta Potabilizadora El Llano de Alajuelita	El Llano de Alajuelita	Superficial	Planta	180,328
Planta El Tejar del Guarco	Acueducto El Tejar del Guarco			1,342,196
Bombeo Tejar del Guarco	Acueducto El Tejar del Guarco			1,025,620
Sistema de Puente Mulas	Puente Mulas	Pozo	Pozo	28,750,137
Sistema de Puente Mulas	Bombeo Intel	Pozo	Pozo	518,058
Sistema de Puente Mulas	Pozo La Rivera (Intel)	Pozo	Pozo	661,671
Sistema de Pozos La Valencia	La Valencia	Pozo	Pozo	27,868,898
Sistema de Pozos San Pablo	Pozo Rincón de Ricardo #1 (Pequeño)	Pozo	Pozo	N.D.
Sistema de Pozos San Pablo	Pozo Rincón de Ricardo #2 (Grande)	Pozo	Pozo	1,749,699
Sistema de Pozos San Pablo	Pozo San Pablo # 1	Pozo	Pozo	785,482
Sistema de Pozos San Pablo	Pozo La Meseta	Pozo	Pozo	1,627,461
Sistema Potrerillos San Antonio	Booster Matra	Pozo	Pozo	5,219,019
Sistema Potrerillos San Antonio	Pozo Zoológico	Pozo	Pozo	178,558
Sistema Potrerillos San Antonio	Pozo Brasil de Mora	Pozo	Pozo	102,259
Sistema Potrerillos San Antonio	Potrerillos-Lindora	Pozo	Pozo	1,050,565
Manantiales la Libertad	Bombeo La Libertad	Pozo	Pozo	2,754,916
Manantiales de Padre Carazo	Manantiales Padre Carazo	Manantial	Manantial	2,009,196
Manantiales de Pizote	Manantiales Pizote	Manantial	Manantial	766,836
Manantiales de Vista de Mar	Manantiales Vista de Mar	Manantial	Manantial	211,446
Manantiales de Chiverrales	Chiverrales	Manantial	Manantial	1,321,920
Manantiales de Lajas	Lajas (Fuentes no medidas)	Manantial	Manantial	N.D.
Planta Barrio España	PP Barrio España	Superficial	Superficial	183,086
Captaciones Matinilla	Matinilla (Fuentes no medidas)	Superficial	Superficial	N.D.
Captaciones al Sur de Alajuelita	Sur Alajuelita (Fuentes no medidas)	Naciente	Naciente	N.D.
Captaciones Sur de Escazú	Pozo Bebedero	Pozo	Pozo	34,388
Captaciones Sur de Escazú	Sur de Escazú (Fuentes no medidas)	Varios	Superficial	0
Captaciones Ticufres	Fuentes Ticufres	Manantial	Manantial	31,476
Total				170,802,915

Sistemas cuya producción no se inyecta al Acueducto Metropolitano:

Cartago (3)		Planta		10,074,490
Quitirrisí (2)		Planta		1,815,546

PT = Planta de tratamiento, MA = Manantial, PZ = Pozo, G = Gravedad, B = Bombeo. N.D. = No disponible. (1) Ciudad Colón; (2) Puriscal-Región Central Oeste; (3) Planta operada por la Región Metropolitana para el abastecimiento de Cartago y Paraíso. Fuente: Jorge Aguilar Barboza, AyA (comunicación personal, 2014)

agua. No se dará disponibilidad de agua potable para fraccionamientos sin frente a calle pública, ni a condominios, urbanizaciones ni a edificios de apartamentos.

- Disponibilidad Tipo 5: Sectores fuera de los límites de abastecimiento del Acueducto Metropolitano, en donde existen sistemas de suministro de agua administrados por las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS), acueductos municipales, otras asociaciones o la EPSH. Según el último dato de 2013, la cantidad de ASADAS era de 163 con un promedio de caudal de 769.6 litros por segundo

En cuanto a la distribución del servicio en el GAM, ésta se puede dividir en dos tipos de fuentes: manantiales o nacientes y pozos (Tabla 2). Existen además 19 plantas de potabilización. Además, en la zona urbana se encuentran tres plantas de potabilización de aguas en Tarbaca, San Gabriel de Aserri e Higuito de San Miguel de Desamparados, en donde se han establecido reglamentos de operación de aguas residuales particulares.

Como se puede ver en la Tabla 2, la capacidad instalada en nacientes o manantiales es de alrededor de 4.3 millones de m³ anuales, mientras que en pozos es del orden de 74.5 millones de m³ anuales, siendo Heredia una de las provincias con más aportes de aguas subterráneas (AyA, 2013). En el GAM, el agua subterránea constituye entonces 68% de las fuentes de agua potable, mientras que el agua superficial aporta 32% (AyA, 2002). Los acuíferos más importantes del país son: Colima Superior, Colima Inferior, Barba, Liberia, Bagaces, Barranca, La Bomba (Limón), Zapandí y los acuíferos costeros: Jacó, Playas del Coco, Brasilito y Flamingo. Por otra parte, en términos de aguas superficiales, en Hidalgo (2012) se encuentra una tabla con las características de los principales ríos del país.

2.2 Tratamiento de agua en las ciudades

Las ciudades que cuentan con redes de alcantarillado sanitario son San José, Liberia, Nicoya, Santa Cruz, Cañas, San Isidro de El General, Puntarenas, Limón, Heredia, Cartago y Alajuela, que conjuntamente representan una cobertura de 33,8% en el área urbana. De éstas, solamente cuentan con tratamiento mediante lagunas de estabilización las ciudades de

Liberia, Nicoya, Santa Cruz, Cañas y San Isidro de El General, y una parte de las aguas recolectadas en Puntarenas reciben tratamiento en una planta de lodos activados. Se estima que solo se trata 4% de las aguas residuales generadas por la población urbana con alcantarillado sanitario (AyA, 2002; Arias, 2010).

Si el país pretende nivelar las coberturas de agua y alcantarillado sanitario, deberá prepararse para importantes inversiones en el área urbana (AyA, 2002). Se estimó que el monto de la inversión necesaria en 2002 para construir una planta de tratamiento para el GAM era del orden de 289 millones de dólares y en algún momento se pensó que el proyecto podría ser ejecutado por medio del método de concesión (AyA, 2002). En 2014 se revisaron los costos y ahora se estima que el final es de 344 millones (La Nación, 2014). El 12 de septiembre de 2012 se firmó el contrato con la empresa española Acciona Agua, quien es la encargada del desarrollo de la planta de tratamiento Los Tajos, en La Uruca, la cual recibirá las aguas residuales de 11 cantones de la GAM, atendiendo a 1 millón 70 mil habitantes. El contrato con la empresa española indica que se realizará el plan maestro para la primera etapa, etapa intermedia y segunda etapa de la planta, pero solo se construirá la primera. Para el tratamiento secundario AyA está en búsqueda de fuentes de financiamiento. La planta está actualmente en proceso de construcción (en febrero de 2014 la planta estaba en 10.65% de avance) y se espera que empiece a funcionar en mayo de 2015 (La Nación, 2014). La mitad del costo de la obra será asumida por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos es un componente del Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José, que integró la construcción de un alcantarillado que coleccionará las aguas que serán tratadas (EF, 2012). Se planea que en los próximos 14 años se construyan otras plantas en las provincias de Heredia y Cartago (La Nación, 2014).

Por el momento, 96% de las aguas residuales urbanas recolectadas por los alcantarillados sanitarios se está disponiendo en los ríos sin ningún tratamiento. Dos de las principales cuencas del país, las de los ríos Grande de Térrones y Reventazón, donde se asienta alrededor de 70% de la población del país, reciben las aguas residuales sin tratar de las ciudades de San José, Heredia, Alajuela y Cartago (AyA, 2002). En Hidalgo (2012) se muestran las concentra-

ciones promedio de algunos indicadores de calidad del agua en dos de los ríos más contaminados de la Gran Área Metropolitana o GAM (San José y ciudades circundantes) como lo son el Río Tárcoles y el Río Virilla (tributario del Río Grande de Tárcoles). En esta tabla se puede ver cómo las concentraciones de contaminantes exceden por mucho las concentraciones recomendadas.

La degradación del ambiente y de los cuerpos de agua en el país, pero en particular en la GAM, durante las últimas tres décadas están empezando a ser cada vez más costosas en términos humanos y económicos. De hecho, se ha estimado que los costos anuales de la contaminación en términos de pérdida de productividad y el tratamiento de enfermedades asociadas suman alrededor de 325 millones, divididos en los 122 millones de las áreas de las ciudades conectadas al sistema de alcantarillado sanitario y los 203 millones de las áreas con tanques sépticos

(Moreno Díaz, 2009). En la Tabla 3 se muestran las características de la infraestructura de los alcantarillados sanitarios de AyA y de la ESPH (empresa encargada de suministro y saneamiento de agua a la provincia heredia).

3. Agua y salud en las ciudades

Los índices de salud en general para el país señalan un avance positivo en el contexto mundial. La esperanza de vida al nacer pasó de 1990 al año 2012, de 76.7 a 80.0 (Banco Mundial, 2014). En el mismo período la tasa de mortalidad infantil (mortalidad en el primer año de vida) pasó de 15.3 a 8.5 (INEC, 2013). Estos índices se han logrado gracias a las políticas efectivas de salud del país, en donde el sistema solidario de seguridad social de salud ha jugado un papel preponderante, pero tampoco se puede negar

Tabla 3. Características de la infraestructura de los alcantarillados sanitarios de AyA y de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia

Región / Sistema	Tarifa	No de servicios	Tipo de tratamiento	Disposición final
Región Metropolitana AyA				
San José	U	o	N	R
Región Huetar Atlántica AyA				
Limón	U	7811	EPA+Em	M
Región Brunca				
San Isidro de Pérez Zeledón	U	3153	LE	R
Boruca, Buenos Aires	U	112	PT	Q
Lomas, Buenos Aires	U	86	LE	Q
Región Chorotega AyA				
Liberia	U	3435	LE	R
Cañas	U	1691	LE	R
Santa Cruz	U	1367	LE	R
Nicoya	U	1461	LE	R
Región Pacífico Central AyA				
Puntarenas	U	8127	PT	M
Región Central Oeste				
Ciudad Hacienda los Reyes	U	184	PT	Q
Villa Verano	U	125	PT	R
Santa Cecilia de Puriscal	U	40	PT	Q
ESPH				
Heredia	U	o	N	R

Notas: Tipo de tratamiento: PT-Planta de Tratamiento, LE-Laguna de estabilización, N-Ninguno, Punto de disposición: Q-Quebrada, R-Río, M-Mar. El número de servicios es al 30/6/2001 excepto Puntarenas que es al 31/8/2001; La ESPH en Heredia tiene en operación dos pequeñas plantas de aireación extendida y barros activados, que tratan una porción pequeña de los efluentes de alcantarillado sanitario con un regular rendimiento.

Fuente: Sistema Comercial Interno, Datmart Comercial, 2014.

Tabla 4. Casos y tasas de incidencia (en paréntesis), enfermedades relacionadas con agua y saneamiento

Enfermedad	1996	1997	1998	1999	2000
Cólera	36 (1.05)	1 (0.003)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Dengue	2294 (66.62)	14279 (406.74)	2628 (69.73)	2628 (68.15)	4908 (124.47)
Diarrea	99967 (2903.22)	113772 (3240.78)	132995 (3528.75)	140092 (3632.91)	164629 (4175.01)
Enfermedad Estreptocócica	62463 (1814.03)	58292 (1660.44)	75124 (1993.26)	91099 (2362.91)	No hay dato
Encefalitis Vírica	14 (0.41)	22 (0.63)	37 (0.98)	28 (0.73)	17 (0.43)
Fiebre Tifoidea	19 (0.55)	16 (0.46)	10 (0.27)	8 (0.21)	8 (0.20)
Hepatitis todas las formas	868 (25.21)	1191 (33.93)	1483 (39.35)	2132 (55.29)	1739 (44.10)
Infección Meningocócica	34 (0.99)	23 (0.66)	24 (0.64)	16 (0.41)	19 (0.48)
Leptospirosis	29 (0.84)	27 (0.77)	26 (0.69)	312 (8.10)	156 (3.96)
Meningitis todas las formas	470 (13.65)	446 (12.70)	458 (12.15)	615 (15.95)	514 (13.04)
Salmonelosis	28 (0.81)	37 (1.05)	15 (0.40)	34 (0.88)	89 (2.26)
Shigelosis	73 (2.12)	40 (1.14)	45 (1.19)	38 (0.99)	89 (2.26)

Fuente: AyA (2002) usando datos de la Unidad Estadística del Ministerio de Salud. Tasas por cada 100000 habitantes.

que la cobertura con agua potable (o con agua limpia en muchos casos) ha tenido un impacto importante. La tasa en 2012 de mortalidad infantil de 8.5 por mil nacidos vivos, representa un porcentaje relativamente bajo en relación con otros países del área, ya que el porcentaje de muertes infantiles por enfermedades infecciosas, particularmente las intestinales y respiratorias agudas es relativamente bajo (INEC, 2013). Por ejemplo, el porcentaje de causas de muerte en infantes debido a enfermedades infecciosas y parasitarias es de 1.6% y, por causas respiratorias, de 4.3% (INEC, 2013). En contraste, la mayoría de las muertes en niños se da por afecciones causadas en el período perinatal (48.4%) y a malformaciones congénitas (37.2%) (INEC, 2013). A nivel de diarreas la situación es diferente, ya que la tasa tiene una conducta creciente desde 1996 a 2000, donde muy posiblemente hay una vinculación directa con los problemas de ausencia de sistemas de recolección de aguas residuales en las áreas urbanas y de saneamiento ambiental en general, lo que coloca en riesgo la calidad del agua para consumo humano (AyA, 2002). En los indicadores de salud debe estar pesando la baja atención a la problemática de las aguas residuales en el medio urbano, donde las acequias, quebradas y ríos son utilizados como desagüaderos de contaminantes (AyA, 2002). Sin embargo, cabe destacar que las enfermedades del sistema digestivo son raramente mortales en la niñez; por ejemplo a 2011, el porcentaje de muertes de niños menores de 5 años por estas causas fue de 0.01 por mil, comparado con la tasa de mortalidad de 2.21 por mil obtenida

sumando las causas de muerte de todo tipo para ese rango de edades (Ministerio de Salud, 2011).

El agua potable es el servicio público por excelencia en el cual se fundamenta la preservación de la salud de la población al proveer higiene y un medio adecuado para conducir y disponer excretas y otros desechos sólidos (AyA, 2002). Muy probada está la relación agua potable-salud; sin este servicio, la sociedad no puede desarrollarse saludablemente. Costa Rica, desde los tiempos de la Colonia, se ha preocupado por proveer este servicio a todas las áreas. Además, es el elemento vital para el desarrollo; no puede haber desarrollo sin agua potable (AyA, 2002).

Sin lugar a dudas, la falta de infraestructura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento o el deterioro de los mismos, ha propiciado en ciertos sectores del país la presencia de enfermedades transmisibles tales como el cólera, fiebre tifoidea, salmonelosis, shigelosis, amebiasis, giardiasis, otras infecciones intestinales, hepatitis viral, etcétera (AyA, 2002). Las enfermedades que han sido relacionadas con el agua y detectadas en el país son, entre otras, las siguientes: disentería amebiana, disentería bacilar, enfermedades diarreicas (incluyendo las dos anteriores), cólera, hepatitis A, fiebre paratifoidea y tifoidea, poliomielitis, esquistosomiasis, dengue y paludismo. En la Tabla 4 se presentan las tasas de incidencia de las enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento (AyA, 2002).

En la práctica, las acciones de control en los sistemas de abastecimiento son de monitoreo, ya que no se ejecutan programas intensivos de vigilancia

sanitaria, aun cuando se tiene conocimiento de la alta vulnerabilidad de las fuentes, especialmente de las superficiales. Tampoco existen programas de sostenibilidad de la calidad del recurso hídrico utilizado para consumo humano, que incorpore planes de reforestación, uso del suelo, etcétera (AyA, 2002). De hecho, la falta de un plan de ordenamiento territorial ha sido mencionado como una de las necesidades más apremiantes en Costa Rica, especialmente en áreas urbanas (Hidalgo, 2012).

El reciente “Informe 2014 OMS/UNICEF: progresos sobre el agua potable y saneamiento” aporta datos y conclusiones sobre los avances en la Meta 10 del “Objetivo de Desarrollo del Milenio”, la cual consiste en reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento para 2015 con respecto a 1990.

El Programa Conjunto de Monitoreo (PCM) estableció el nuevo concepto de “Fuentes de Agua Potable Mejoradas” (FAPM), con el propósito de medir los avances en agua potable mediante la aplicación de esta iniciativa. Una fuente de agua potable mejorada es aquella que, por el tipo de construcción, protege apropiadamente el agua de la contaminación exterior, en particular de la materia fecal; comprende el acceso a agua por cañería intradomiciliar o en el patio, pileta pública, pozo o naciente a 1 Km de la vivienda, e incluso la recolección de agua de lluvia. Este concepto no toma en cuenta la calidad del agua ni la calidad del servicio (cantidad, continuidad, calidad, cobertura y costos).

En el marco de este débil concepto, a nivel mundial se han observado “grandes avances” como que la cobertura con FAPM pasó de 76% en 1990 a 89% en 2012. En este contexto es importante resaltar que dicho avance se ha concentrado en las comunidades rurales, con un incremento de prácticamente 20% entre esos mismos años, ya que pasó de 62 a 82%; no obstante, en las zonas urbanas el acceso a FAPM disminuyó, porque el abastecimiento con agua por cañería bajó 1% con respecto al 81% reportado en 1990, ubicándose en 80%.

En forma general, en 23 de los 222 países evaluados ha disminuido el acceso a agua por cañería, entre los que sobresalen algunos países africanos y asiáticos; en el continente americano, la cobertura en los Estados Unidos bajó de 100 a 99%, y en República Dominicana de 95 a 74%. En los 22 años del estudio, la disminución en el acceso a fuentes de agua

potable mejoradas, en la mayoría de estas naciones, se debe al deterioro económico y la pobreza, la migración de la población rural a las ciudades urbanas y al consumo de aguas envasadas, en detrimento de los sistemas de abastecimiento. Esto genera que muchos países hayan alcanzado el ODM7 en el marco del concepto de FAPM, estableciendo piletas públicas o usando agua de pozos y nacentes, en vez de construir acueductos como ha sucedido en la mayoría de los países centroamericanos.

En Costa Rica los avances han sido muy satisfactorios, alcanzando en 2012 un 98% de cobertura con agua por cañería intradomiciliar y 99% con FAPM; sin embargo, es necesario ocuparnos de la calidad de los servicios de agua y la universalización del agua potable, para que llegue el servicio hasta los pueblos más marginados del país.

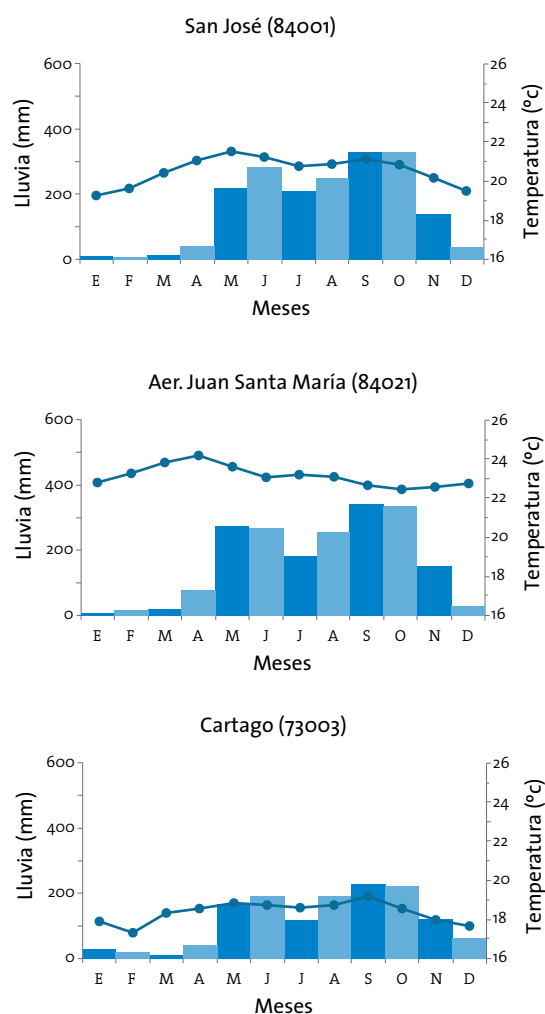
4. Variabilidad climática

El clima de Costa Rica está influenciado por factores naturales, entre los cuales podemos mencionar: El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), movimientos latitudinales del Centro de Convergencia Intertropical, el Jet de Bajo Nivel del Caribe, el Veranillo, tormentas tropicales y huracanes, la influencia del Atlántico y los frentes fríos. En Valle Central de San José, donde se ubican los grandes centros urbanos, posee una climatología de precipitación típica del régimen Pacífico, con una estación seca durante diciembre a abril y una lluviosa de mayo a noviembre con un mínimo secundario durante julio denominado Veranillo (Figura 2). La temperatura promedio mensual varía poco durante el año.

Los extremos altos de precipitación causan graves problemas de inundaciones y daños en la infraestructura de las zonas urbanas. El problema no es solamente causado por posibles tendencias positivas en la intensidad de las tormentas (ver sección de cambio climático en una sección posterior), sino también el problema es agravado por construcciones cerca de laderas inestables o de cauces de ríos, falta de mantenimiento de las alcantarillas pluviales y en los cauces, y una rápida y creciente urbanización en algunas zonas. Las frecuentes inundaciones en gran parte del país, como por ejemplo durante 2010 (año clasificado como La Niña), nos han recordado que es indispensable hacer esfuerzos en otros

campos como el mantenimiento de la red vial y de alcantarillado, el cuidado y la limpieza de los ríos, la conservación y reforzamiento de la red de observaciones hidrometeorológicas, el establecimiento de normas de diseño de taludes considerando criterios hidrometeorológicos, la necesidad de actualizar y respetar el ordenamiento territorial y la inversión en educación y formación a todos los niveles. Estas acciones de mantenimiento, planeamiento y desarrollo de sistemas de protección civil resultan menos onerosas a largo plazo que el costo en pérdida de infraestructura y vidas humanas tras un desastre (Hidalgo, 2010).

Figura 2. Climatología de tres estaciones localizadas en tres ciudades principales del Valle Central de Costa Rica



Fuente: Atlas en línea del Instituto Meteorológico Nacional (<http://www.inm.ac.cr/>)

4.1 Inundaciones urbanas, algunos casos de estudio

El proceso de urbanización generado por el crecimiento de la población repercute en las cuencas hidrográficas, causando: aumento en picos de descarga de agua, así como el incremento de la escorrentía y sus frecuencias; aumento en la verticalidad de las paredes de los cauces; incremento en los sedimentos de la cuenca, así como erosión y degradación en los ríos cuando una cuenca ya se encuentra muy impermeabilizada.

Este fenómeno se ha presentado en las cuencas de los cantones al sur de Heredia, que han sufrido una afectación muy severa en los últimos 30 años. El 15 de abril de 2005 la Sala Constitucional (órgano jurídico responsable de emitir fallos relacionados con la interpretación de la Constitución Política) emitió la resolución 2005-04050 en la cual se condena a las siguientes instituciones públicas por otorgar permisos de construcción y por el mal manejo de los acueductos municipales y alcantarillado pluvial, dentro de las cuencas de la Quebrada Seca y el Río Burío: Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Región Central del Ministerio de Salud, Empresa de Servicios Públicos de Heredia, Municipalidad de San Rafael de Heredia, Municipalidad de San Antonio de Belén, Municipalidad de Heredia, Municipalidad de Barva, y Municipalidad de Flores.

La conclusión del dictamen indica que se ha generado un daño ambiental y se obliga a estas instituciones a preparar en conjunto un informe semestral con las acciones tomadas para solventar los problemas mencionados. Las situaciones que se presentan en estas quebradas consisten en desbordamientos durante los periodos intensos de lluvia, descarga directa de aguas servidas a estos ríos y desecho de basura en sus aguas, con los consecuentes malos olores, disminución de fauna y flora, daños a viviendas e industrias, evacuaciones de centros de poblaciones regulares, entre otros. La Quebrada Seca y el Río Bermúdez conforman una red hidrológica importante en los cantones mencionados. Son cuencas que históricamente han brindado uno de los mayores potenciales hidrogeológicos del GAM y han sido altamente explotadas para el suministro de agua potable, no sólo para la zona, sino también para otras provincias del país.

Los problemas detectados se han generado en su gran mayoría por el crecimiento exponencial y des-

ordenado de los municipios en mención, sin haber tomado en consideración, en ese momento, ningún tipo de medida de mitigación que evitara el aumento de escorrentía y su contaminación. El intensivo crecimiento urbano también ha presionado la explotación de los acuíferos en la parte alta de estas cuencas, con una consecuente disminución en el caudal base de los cauces. Esto ha repercutido a nivel ambiental, ya que durante la estación seca el flujo se disminuye de forma importante y evita que las aguas servidas (en muchos casos sin ningún tipo de tratamiento) que se descargan directamente en los ríos, se diluyan con el caudal de éstos. La situación no es exclusiva de los cantones mencionados, sino que es una situación que se está presentado cada vez más frecuentemente a nivel nacional y que a la fecha no se ha propuesto un plan o proyecto que proponga una solución efectiva para esta condición.

La mayoría de las municipalidades con fuerte desarrollo urbano del país se han enfocado en solicitar a los desarrolladores lagunas de compensación pluvial para los diferentes residenciales u obras con áreas techadas significativas, sin que exista ninguna metodología estandarizada para el diseño y/o supervisión de la construcción de dichas lagunas. La gran mayoría de éstas es diseñada sin considerar un hidrograma completo de la cuenca, con diferentes periodos de retorno y parámetros sin ningún tipo de calibración.

En las investigaciones preliminares efectuadas sobre este tema se pudo determinar que la Municipalidad de San Antonio de Belén y la Universidad Nacional son prácticamente las únicas dos entidades que se encuentran trabajando en una solución a este problema. Aun así, la Municipalidad de San Antonio de Belén busca una solución para su problema particular, pero no una solución integral.

Las áreas urbanas demandan a los sistemas de drenaje múltiples objetivos, entre los que se encuentran: la mejora de la calidad del agua, recarga de mantos acuíferos, instalaciones recreativas, generar hábitat para la flora y fauna, creación de lagunas o pantanos, protección del paisaje, control de erosión y disposición de sedimentos, creación de espacios abiertos. Por lo tanto, dentro de lo posible, siempre se recomienda aprovechar las condiciones de los sistemas existentes. El desarrollo urbano en áreas sin la previsión adecuada de drenajes multiplica el gasto público, ya que posteriormente los problemas generados se deben corregir a costa de los impuestos

generales. El sureste de San José también presenta problemas de inundaciones urbanas, en particular los cantones de Desamparados, Aserrí y Curridabat.

5. Cambio climático

5.1 Observaciones de cambio climático en registros observados en las últimas décadas

En Centroamérica el promedio de temperatura anual ha aumentado aproximadamente 1°C en el período 1900-2010 y el aumento de días y noches cálidas creció 2.5 y 1.7% por década, mientras que las noches y días fríos han disminuido -2.2 y -2.4% respectivamente (Corrales, 2010). Los extremos de temperatura muestran un aumento de entre 0.2 y 0.3°C por década (Corrales, 2010). Tales tendencias son consistentes con los resultados de los extremos en temperatura y precipitación encontrados por Alexander *et al.* (2006) en un set de aproximadamente 600 estaciones a través del mundo. Según los mapas de este último estudio para la región centroamericana, las reducciones de 1951 a 2003 en el número de noches frías (menor al percentil 10, TN10) son de aproximadamente 3 a 6 días por década; las noches cálidas (mayor al percentil 90, TN90) han aumentado de 4 a 8 días por década; los días fríos (TX10) han disminuido de 0 a 3 días por década, y los días cálidos (TX90) han aumentado de 4 a 8 días por década. Las tendencias en los eventos extremos de temperatura (TN10, TN90, TX10 y TX90) son consistentes con el estudio de Aguilar *et al.* (2005) usando estaciones en Centroamérica y con el reporte Alianza Clima y Desarrollo (2012). Sin embargo, en este mismo reporte se indica que las tendencias observadas en olas de calor muestran gran variabilidad espacial (incrementos en algunas áreas y reducciones en otras).

El análisis de temperatura y precipitación revela una variedad de cambios durante los últimos 40 años en Centroamérica y el norte de Sudamérica. Aunque esto es cierto para ambas variables, los cambios en temperatura tienen un mayor grado de coherencia. Esto no es sorpresivo, ya que la precipitación en la región tiene más variabilidad que la temperatura (Aguilar *et al.*, 2005). En la región centroamericana, en general la precipitación total anual no tiene tendencias significativas (ver Figura 9 de Aguilar *et al.*, 2005). En general, las tendencias de índices de

precipitación promedio y de extremos no muestran una coherencia de signo en Centroamérica, esto es, unas de las estaciones de precipitación muestran tendencias positivas y, otras, negativas, pero mayormente no significativas (Aguilar *et al.*, 2005; Alianza Clima y Desarrollo, 2012). Sin embargo, al menos un estudio (Neelin *et al.*, 2006) encontró tendencias negativas en la parte norte de Centroamérica usando datos de estaciones (1950-2002) y de satélite (1979-2003). Corrales (2010) y Aguilar *et al.* (2005) mencionan que aunque existe gran variabilidad espacial, los índices de precipitación indican que aunque no ha habido aumentos importantes en la cantidad de la precipitación, sí se ha observado una intensificación de las mismas; esto quiere decir que los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve más intensamente en un período de tiempo más corto. Se ha observado en algunas regiones un aumento en la proporción de las tormentas muy intensas desde 1970, que es mucho mayor que el simulado en los modelos actuales para este período, por lo que es probable que aumente en el futuro la frecuencia de aparición de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, así como la frecuencia e intensidad de los huracanes en la Cuenca del Caribe (Corrales, 2010). Esta última aseveración debe tomarse con un poco de escepticismo ya que, aunque algunos estudios de modelaje han mostrado que es probable un aumento en el número de huracanes intensos en el futuro (Kerr, 2010), existe evidencia de que históricamente no ha habido aumentos significativos en el número de ciclones tropicales y huracanes (Alfaro, 2007; Alfaro *et al.*, 2010; Alfaro y Quesada, 2010).

Hidalgo *et al.* (2013) cambiaron de escala los datos de precipitación y temperatura del NCEP-NCAR Reanálisis (Kalnay *et al.*, 1996) y los usaron como entrada en un modelo hidrológico para dos sitios en Centroamérica: Tegucigalpa (Honduras) y San José (Costa Rica), y así obtener estimaciones de escorrentía anual. Los resultados muestran tendencias en la escorrentía anual negativas y significativas desde 1980-2012. Estas tendencias “observadas” son relativamente más fuertes para el caso de San José (parte sur del istmo) que para Tegucigalpa (parte norte del istmo). Estas tendencias son consistentes con estudios en otras áreas del mundo, en donde se ha encontrado que en la década de 1980 ocurrieron cambios climáticos particularmente significativos en variables hidrometeorológicas (Barnett *et al.*, 2008 y

Meehl *et al.*, 2007). Sin embargo, se ha de mencionar que en otros reportes las tendencias en la sequedad observadas son variadas e inconsistentes (Alianza Clima y Desarrollo, 2012).

En el caso particular de Costa Rica, las diferencias entre el clima de 1961-1990 comparado con el clima de 1991-2005 de datos de estaciones meteorológicas muestran algunos cambios en el Pacífico Norte (tendencias hacia clima más seco), el Pacífico Central (tendencias hacia climas más húmedos) y el Caribe Sur (tendencias hacia climas más húmedos) (MINAET, 2009). En particular, la zona Pacífico Norte ha experimentado una disminución significativa en la precipitación de mayo a septiembre. Hay que mencionar que algunos de estos cambios pueden ser (parcialmente) producto de cambios naturales en el clima, ya que por ejemplo fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) han cambiado en los últimos años hacia más altas frecuencias de eventos cálidos y menos eventos fríos. Es difícil saber si estos cambios son una respuesta del cambio climático antropogénico, pero existen fenómenos naturales de gran escala y baja frecuencia como la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP; Mantua *et al.*, 1997) que pueden modular la frecuencia de ENOS.

5.2 Proyecciones hidroclimáticas para Centroamérica y Costa Rica

Las proyecciones del clima en general se basan en Modelos de Circulación General (MCG) o Modelos Globales del Clima. Estos modelos son representaciones matemáticas de los factores y procesos que gobiernan el clima en la Tierra, considerando diversos forzamientos tales como la influencia solar, volcánica y gases de efecto invernadero. Existen varias series de corridas de estos modelos; la más reciente es la correspondiente al Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados 5 (CMIP5 en inglés). Sin embargo, debido a que son relativamente nuevas, las corridas de los modelos CMIP5 todavía no se han evaluado con gran detalle con respecto a su capacidad de modelar los factores climáticos de gran escala que afectan el clima en Centroamérica. Además, hay pocos estudios publicados con proyecciones de estos modelos. Por esa razón, los resultados más recientes mencionados aquí se basan en corridas del CMIP3. Existen limitaciones en los modelos del CMIP3, pero en general reproducen aproximadamente algunos

patrones climáticos relacionados con el clima centroamericano (Pierce *et al.*, 2008 y 2009; Delworth *et al.*, 2012; Hirota *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2012; Rauscher *et al.*, 2008; Martin y Schumacher, 2011; Jiang *et al.*, 2012; Hidalgo y Alfaro, 2012).

Para temperatura anual, el calentamiento promedio en la región centroamericana proyectado al final del siglo XXI es de aproximadamente 2.5 a 3.5°C dependiendo de la localización (Hidalgo y Alfaro, 2012), aunque las proyecciones en el sur de Centroamérica pueden ser tan altas como 4.5°C en algunos meses. El consenso de MCG del CMIP3 es que la región centroamericana experimentará reducciones en la precipitación del orden de 10 a 20% y la escorrentía del orden de 20 a 40% a final de siglo (ver figuras 3.3 y 3.5 respectivamente del reporte de IPCC, 2007). Las proyecciones a final de siglo de los modelos, usando escenarios de emisiones A2/A1B, indican que los días cálidos probablemente aumentarán, mientras que los días fríos probablemente se reducirán; es probable que aumentarán las noches cálidas y que se reduzcan las noches frías; es probable que haya olas de calor y períodos cálidos más frecuentes y más largos y/o más intensos en la mayor parte de la región; las tendencias de precipitación fuerte son inconsistentes, y habrá un incremento en la sequedad con menos confianza en la tendencia en el extremo sur de la región (Alianza Clima y Desarrollo, 2012). Usando un modelo regional, Karmalkar *et al.* (2011) encontraron reducciones significativas en la precipitación futura en la época seca de Centroamérica bajo el escenario de emisiones A2. Neelin *et al.* (2006) encontraron un acuerdo entre los modelos al mostrar un patrón seco sobre la región de Centroamérica y del Caribe al final del siglo (2077-2099). Usando 17 MGC, Rauscher *et al.* (2008) citan una disminución en la precipitación durante el verano (JJA), una intensificación del “veranillo” o “canícula” y un desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT) en el Pacífico Tropical Este como respuestas al cambio climático en la región. Usando un modelo de vegetación (no un modelo hidrológico), Imbach *et al.* (2012) estudiaron cambios en la vegetación y la escorrentía en Centroamérica usando 136 corridas de MCG. Estos autores concluyeron que la escorrentía disminuirá, ya que las temperaturas más altas favorecerán evapotranspiración. Hidalgo *et al.* (2013) confirmaron las proyecciones en la disminución en la escorrentía; especialmente en la parte norte de Centroaméri-

ca se encontraron reducciones del orden de 30% en algunos meses del verano boreal. También Hidalgo *et al.* (2013) confirmaron una tendencia a veranillos más acentuados, lo cual había sido mencionado en Rauscher *et al.* (2008). Hay una tendencia significativa (especialmente en la parte norte de Centroamérica) hacia mayor predominancia de sequías extremas (años en los cuales la escorrentía es menor que el percentil 10 durante 1950-1999) al final de siglo, y aunque hay gran variabilidad entre los modelos acerca de la magnitud de la predominancia del porcentaje de área seca, es evidente que habrá un incremento significativo hacia el futuro (Hidalgo *et al.*, 2013).

En MINAET (2012) y Alvarado *et al.* (2011 y 2012) se menciona que Costa Rica en particular y Centroamérica en general son los “puntos calientes” más prominentes del Trópico en el tema del cambio climático debido a la disminución en las precipitaciones en JJA, en consistencia con los resultados encontrados en otros estudios previamente mencionados (ver por ejemplo Hidalgo *et al.*, 2013 e Imbach *et al.*, 2012), así como en los registros históricos y los resultados de 20 modelos globales usando diferentes escenarios de emisiones (Neelin *et al.*, 2006; Trenberth *et al.*, 2007).

A pesar de que los resultados de muchos estudios implican una disminución generalizada de la precipitación y la escorrentía en Costa Rica, de acuerdo con MINAET (2012) no es de esperar que el clima en Costa Rica responda de manera uniforme, sino que se verá sometido a extremos secos y lluviosos. Así, las proyecciones de un escenario de emisiones alto indica que para el período 2011-2040 en el Caribe se estiman aumentos en la precipitación del orden de 35 a 75% para el período mayo-julio, debido a una menor actividad de los frentes fríos durante el invierno. En la vertiente Pacífica y en la Zona Norte el modelo estima menos precipitación a la actual y una intensificación del veranillo que es consistente con Hidalgo *et al.* (2013) y Rauscher *et al.* (2008).

En el Cuadro 8.2 de la “Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático” (MINAET, 2009) se muestra una lista de referencias relacionadas con estudios de cambio climático en Costa Rica, y también en la Tabla i.3 de ese documento se listan recientes evidencias del cambio climático en Costa Rica. En este estudio, los cambios esperados en precipitación a final del siglo (2071-2100) en relación con el escenario base (1961-1990), obtenidos a través

del modelo PRECIS forzado con el modelo HadAM3P bajo el escenario de emisiones A2, son de signo negativo en la costa Pacífica con reducciones de hasta -56% en la Península de Nicoya, y de signo positivo en la vertiente Caribe con aumentos de hasta 49% costa norte de la ciudad de Limón. La temperatura máxima aumentará de 2.4 a 7.9°C dependiendo de la localización, mientras que la temperatura mínima se incrementará de 1.4 a 3.8°C dependiendo de la localización. Similares conclusiones se encuentran en Alvarado *et al.* (2012) con respecto a la precipitación, pero se muestran regiones en el Caribe Sur en las que disminuirán las temperaturas.

5.3 Pronóstico climático estacional en América Central para áreas urbanas, incluyendo las dimensiones físicas y humanas

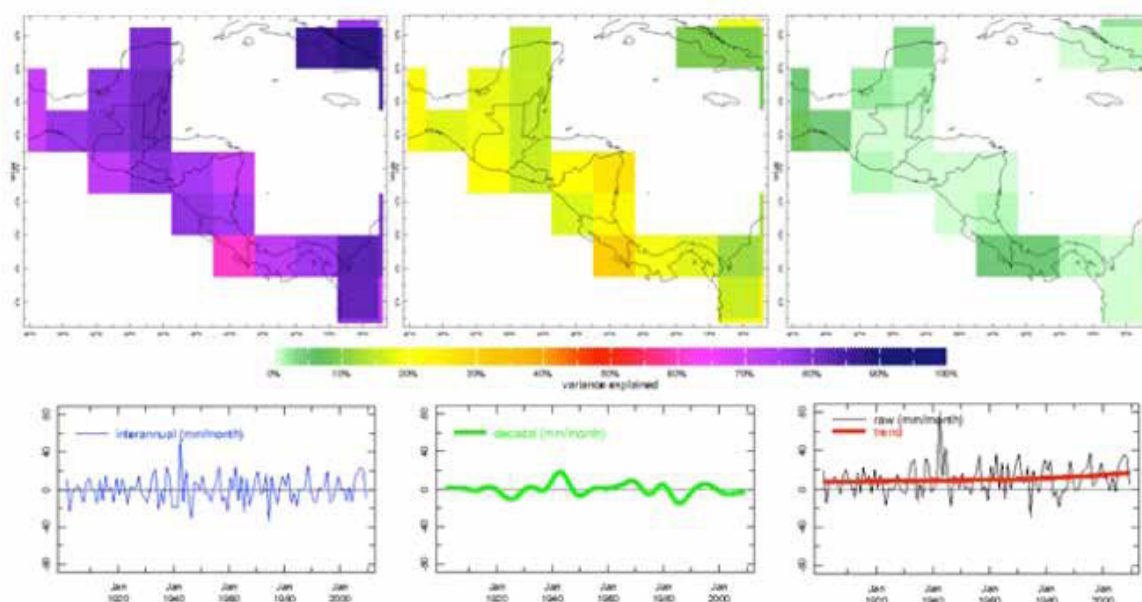
Análisis recientes en América Central muestran que las tendencias asociadas con el número anual de impactos y desastres relacionados con eventos hidrometeorológicos no pueden ser explicadas a través de tendencias climáticas únicamente. Esto significa que otras variables, tales como aquellas asociadas

con aspectos socioeconómicos, deberían ser incluidas en este tipo de análisis para explicar estas variabilidades y sus impactos asociados (*e.g.* Alfaro *et al.*, 2010).

Por ejemplo, un análisis para Centro América de la señal anual de precipitación indica que 84% de la variabilidad total está asociada a variaciones interanuales, mientras que 14% está relacionado con variaciones decadales (ver Figura 3). Suponiendo que los modelos de cambio climático son correctos (una suposición no necesariamente correcta) y que en consecuencia se esperan escenarios con mayor propensión a sequías, éstas podrían verse amplificadas –o disminuidas– también en la región por episodios decadales (10-30 años) o interanuales (unos pocos años) asociados a la variabilidad natural del sistema climático (Becker *et al.*, 2014 y Greene *et al.*, 2011).

Adicionalmente, Hidalgo y Alfaro (2012) encontraron que el actual contraste socioeconómico norte-sur entre los países, en los cuales los países del sur –Panamá y Costa Rica– presentan mejores condiciones de vida que el resto de la región, no va a disminuir en el tiempo y podría más bien incrementarse, de acuerdo con algunos escenarios climáticos y so-

Figura 3. Precipitación total anual en la región centroamericana



Los paneles superiores muestran la distribución espacial de la varianza total explicada por cada escala con respecto a la varianza total, mientras que los inferiores muestran la serie de tiempo asociada a la escala correspondiente para todo el dominio espacial considerado. Las varianzas explicadas para cada escala son 84%, 14% y 2% respectivamente. La resolución espacial es de 0.5°, usando datos CRUv3.21; para detalles ver Greene *et al.* (2011). Los paneles inferiores muestran la descomposición temporal de la señal anual de precipitación en escalas interanual (izquierda), decadal (centro) y tendencia de largo plazo (deracha).

ciales futuros elaborados por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Es más, Panamá y Costa Rica son los únicos países que presentan mejores condiciones de vida para final de siglo al tomar en cuenta, por ejemplo, el efecto positivo en el aumento del producto interno bruto. Debido a lo anterior, es muy probable que las diferencias norte-sur en los estándares de vida se incrementen en la región, por lo que se debe prestar atención a los aspectos, tanto físicos como socioeconómicos, que podrían jugar un papel importante en el incremento de estas diferencias (Hidalgo y Alfaro, 2012).

Considerando el escenario mencionado anteriormente, la predicción climática estacional para áreas urbanas jugaría un papel crucial, especialmente en los campos de la planificación y del manejo integrado de cuencas. Estas predicciones no deberían abarcar solamente lo relacionado con medidas de tendencia central de una variable particular, sino también aspectos de su variabilidad y eventos extremos. Un factor importante a considerar cuando se estudian los eventos extremos en áreas urbanas, es el del uso de la tierra (*e.g.*, planificación territorial asociada a la urbanización), incluyendo además la manutención de las estructuras hidráulicas en relación con la influencia de aspectos climáticos y sus impactos como inundaciones y/o deslizamientos. Todos estos aspectos deberían considerarse al diseñar un sistema de pronóstico particular para las ciudades.

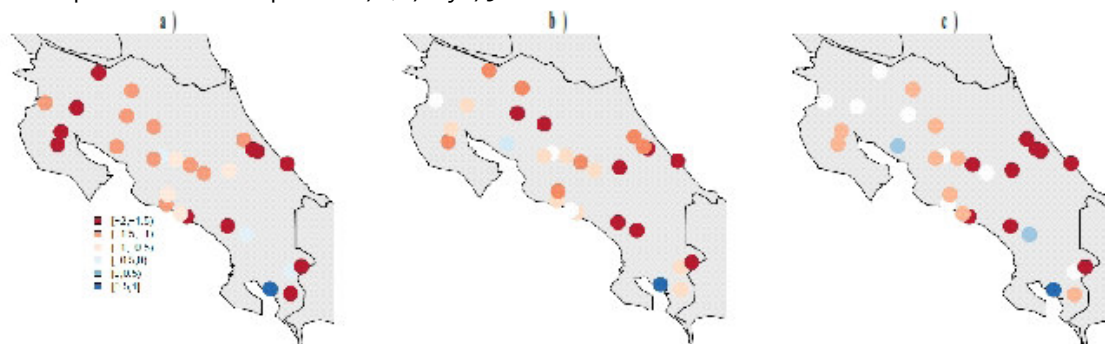
Desde 1997 se han venido realizando en distintas partes de Latinoamérica los llamados Foros Regionales de Predicción Climática (conocidos como RCOFs por sus siglas en inglés), en un esfuerzo por producir productos de predicción climática (IRI, 2001). Ellos han sido financiados por diversas agen-

cias internacionales y con la asistencia de distintas entidades como el Comité Regional de Recursos Hidráulicos o CRRH en Centroamérica (Donoso y Ramírez, 2001; García-Solera y Ramírez, 2012) como uno de los comités asociados al Sistema de Integración Centroamericana o SICA, que participa también en otras iniciativas regionales como la del Observatorio Latinoamericano de Eventos Extraordinarios, OLE (Muñoz *et al.*, 2010; Muñoz *et al.*, 2012).

Alfaro *et al.* (2003) agregan que estos foros generalmente reúnen a los representantes de los servicios meteorológicos e hidrológicos, así como a los miembros de la comunidad científica y académica, que trabajan en la elaboración de las perspectivas climáticas regionales y locales. El objetivo de estos foros es el de usar la experiencia climática nacional para elaborar una perspectiva climática de consenso regional, generalmente de precipitación, de los próximos meses y que además se presente en una forma útil para las distintas agencias involucradas. La metodología recomendada para los mismos es simple y esta perspectiva se integra luego regionalmente para ayudar a los distintos servicios meteorológicos en sus diversas actividades, así como también a los tomadores de decisión y grupos de interés involucrados.

Maldonado *et al.* (2013) reportaron que recientemente se efectúan los llamados Foros de Aplicaciones Climáticas, luego de los RCOFs de América Central, con el fin de traducir a los usuarios los posibles impactos asociados a las predicciones climáticas y de tratar de aliviar el hecho de que algunas veces esta información no es usada necesariamente por los tomadores de decisión. Del proceso de retroalimentación en estas reuniones emergió la necesidad

Figura 4. Distribución espacial para valores del SPI en diferentes estaciones de Costa Rica para una escala temporal de a) 6, b) 12 y c) 36 meses



El Programa de Pago por Servicios Ambientales (PPSA) en Costa Rica

por Mary Luz Moreno Díaz*

El proceso del PPSA respondió a la problemática de la deforestación producida desde mediados de los años 50 en Costa Rica. En este sentido, la tasa de deforestación en Costa Rica pasó de 46.500 ha/año en 1950 a aproximadamente 16.000 ha/año en 1997 (De Camino, Segura, Arias y Pérez, 2000). Se inició con una serie de incentivos forestales y se fue evolucionando hasta el PPSA.

Costa Rica establece las bases de un PPSA como un instrumento de política para “fortalecer el desarrollo del sector de recursos naturales” (Art. 46), mediante la Ley Forestal No. 7575 (1996). Los servicios ambientales son definidos en el Artículo 3, inciso k de la Ley Forestal como “los que brindan el bosque y las plantaciones forestales y que inciden directamente en la protección y el mejoramiento del medio ambiente”. Se reconocen los siguientes servicios ambientales: mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción), protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico, protección de la biodiversidad para conservarla y uso sostenible, científico y farmacéutico, investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas, formas de vida y belleza escénica natural para fines turísticos y científicos (Ley No. 7575, 1996, Art. 3, inciso k).

Los actores sociales participantes en el esquema de PSA se pueden clasificar en dos esferas: la pública y la privada. Los actores de la esfera pública representan diversas organizaciones estatales y no estatales que tienen influencia directa en el PSA (Sistema Nacional de Áreas de Conservación-SINAC, Fondo Nacional de Financiamiento Forestal-FONAFIFO, entre otras). Por su parte, los actores de la esfera no pública incluyen organizaciones en su mayoría de carácter privado como Organizaciones no Gubernamentales (ONG), Centros Agrícolas Cantonales (CAC), asociaciones, empresas privadas, entre otras, que realizan actividades dirigidas hacia el desarrollo y beneficio de los propietarios del recurso forestal que reciben PSA. También se incluyen los propietarios del recurso forestal, que a su vez incluyen privados, poseedores y territorios indígenas.

Las principales fuentes de financiamiento del PPSA han provenido del 3,5% del impuesto a los combustibles, fondos provenientes de préstamos del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), el apoyo financiero del Banco Alemán KfW, el canon de aprovechamiento del agua y contribuciones de empresas y organizaciones. En total, el PPSA pagó 27.2 millones de dólares en sus diferentes modalidades en el periodo 1997-2012.

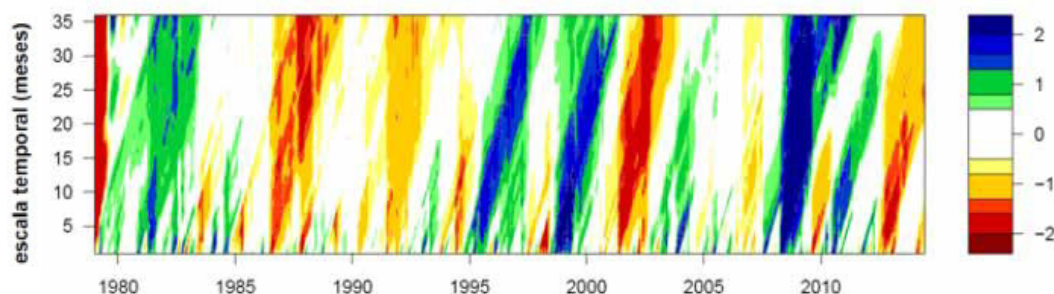
Desde su inicio en 1997 y hasta 2012, el PPSA contrató 934.274.60 hectáreas a nivel nacional en las modalidades de: protección del bosque (89,7%), reforestación (6,1%), manejo del bosque (3,1%), regeneración natural (1%) y plantaciones establecidas (0,1%). Las últimas tres modalidades se han contratado intermitentemente durante el periodo. En 2003 se creó la modalidad de Sistemas Agroforestales, en el cual se les reconoce a los propietarios por árbol; el total de árboles reconocido fue de 4.677.135 hasta 2012 (Fonafifo, 2014).

Referencias

- De Camino, R.; Segura, O.; Arias, L. G. & Pérez, I. (2000). *Costa Rica Forest Strategy and the Evolution of Land Use*. Washington, DC: World Bank.
- Fonafifo (2014). Estadísticas del Pago por Servicios Ambientales. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. Date August 14, 2014. Accessed at: http://www.fonafifo.go.cr/psa/estadisticas/distribucion_hectareas_contratadas_psa_anno_modalidad_1997_2012.pdf

* Investigadora-docente. Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible (CINPE), Universidad Nacional, Costa Rica (mmoreno@una.cr).

Figura 5. Valores del SPI para la estación ubicada en el CIGEFI-UCR ($9^{\circ} 56' 10''$ N, $84^{\circ} 2' 42''$ W, 1236msnm, San José, Costa Rica)



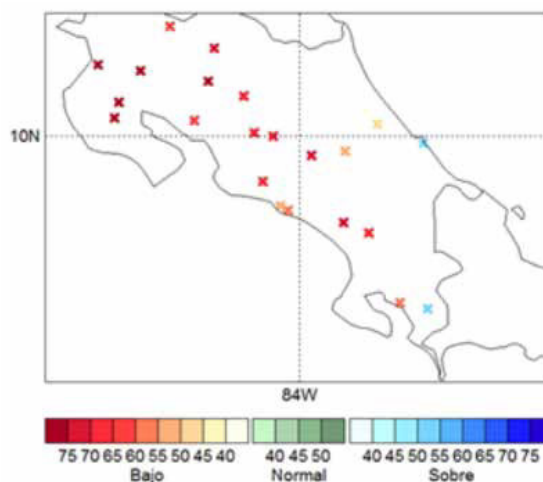
de efectuar predicciones estacionales sobre aspectos relacionados a eventos extremos y días con precipitación (es decir, cómo llueve, además de cuánto llueve). Estos aspectos pueden ser atendidos usando diferentes variables, herramientas y técnicas de ajuste de escala (Maldonado y Alfaro, 2011; Amador y Alfaro, 2009; Alfaro *et al.*, 1998). Sin embargo, Alfaro y Pérez-Briceño (2014) y Maldonado *et al.* (2013) encontraron que al analizar la distribución geográfica estacional de los reportes de desastres, ésta no necesariamente concuerda con la distribución geográfica de los eventos extremos de precipitación, reforzando las ideas expuestas anteriormente de que variables sociales, como la vulnerabilidad poblacional, deben ser incluidas en el análisis de los impactos de eventos extremos, y resaltando la necesidad de incluir los aspectos relacionados con la predicción estacional de eventos extremos y su variabilidad en las áreas urbanas de América Central.

Recientemente se ha planteado el uso de un índice estandarizado de precipitación o SPI (por sus siglas en inglés), como una forma de atender la necesidad del monitoreo o vigilancia y predicción de eventos extremos (OMM, 2012).¹

1. El cálculo del SPI para cualquier localidad se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un período deseado. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades y a continuación se transforma en una distribución normal, de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero. Los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana y, los valores negativos, que es menor. Dado que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo, por lo que también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos utilizando el SPI. Por ejemplo, los episodios de sequía tienen lugar siempre que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad de -1,0 o inferior. El episodio finaliza cuando el SPI alcanza valores positivos (OMM, 2012).

La Figura 4 muestra los valores del SPI para distintas estaciones meteorológicas de Costa Rica, comparando periodos de 6, 12 y 36 meses hacia atrás a partir de junio de 2014. Varias de estas estaciones meteorológicas se ubican en regiones urbanas importantes como San José, Alajuela, Cartago, Limón y Liberia, entre otras. Nótese en la Figura 4 que las condiciones de déficit de precipitación han prevalecido por más de seis meses e incluso hasta tres años en algunas de las estaciones como la zona urbana de Limón o San José, la capital. El efecto acumulado de sequías como la mencionada aquí trae en ge-

Figura 6. Pronóstico climático estacional probabilístico del SPI para el periodo julio-agosto-septiembre-octubre de 2014



Utilizando un modelo estadístico de correlación canónica basado en la herramienta CPT (ver <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/tools/cpt/>). Como campo predictor se utilizaron las anomalías de la temperatura superficial del mar del mes de junio para el área [60° N- 10° S; 150° E- 30° W] y la persistencia de las estaciones de los meses mayo-junio. El periodo de calibración del modelo fue de 1979 a 2013, con un máximo de 15 modos.

neral importantes impactos negativos a tomadores de decisión en distintos sectores; sin embargo, la ventaja que se tiene con este tipo de eventos es que dado que ocurren más lentamente que otros eventos climáticos, es posible predecir en muchos casos con suficiente antelación su ocurrencia, distribución espacial e intensidad.

La Figura 5 nos muestra el caso particular de la estación ubicada en el Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica en San José. Nótese que este índice puede ser usado, no sólo para la vigilancia de condiciones deficitarias de lluvia (2002-2003, entre otros), sino también para situaciones en las cuales los periodos pueden ser considerados como húmedos o muy húmedos. Tal es el caso del periodo 2007-2010, por ejemplo. Esta figura puede ser utilizada también para analizar el efecto acumulado de sequías a distintas escalas de tiempo (eje vertical), dando una idea de su severidad y tipo: periodos prolongados en tonos rojos indican duracio-

nes largas, mientras que tonos rojos extendiéndose a lo largo de múltiples escalas temporales (eje vertical) indican sequías que han podido evolucionar de sequías meteorológicas (pocos meses) a agrícolas o hidrológicas (múltiples meses).

Otra de las ventajas de este índice es que permite su uso en la predicción estacional. La Figura 6 muestra el pronóstico del SPI para el cuatrimestre julio-octubre de 2014. Se observa de dicha figura que el escenario más probable es la persistencia de condiciones deficitarias de precipitación durante los próximos cuatro meses, especialmente en la vertiente del Pacífico de Costa Rica. Lo anterior, sumado al hecho de que el déficit puede rastrearse en algunas regiones, meses o años hacia atrás, podría afectar aspectos socioeconómicos clave en las regiones urbanas, como el abastecimiento de agua potable o la generación hidroeléctrica, ya que dicha vertiente experimenta su época seca durante el invierno boreal (Alfaro, 2002).

Autores de las secciones de este capítulo

H.G. Hidalgo: Resumen, Introducción, Conclusiones, Recomendaciones y subcapítulos 1, 2, 3 y 4.

V.H. Chacón participó en el subcapítulo 2.

D.A. Mora participó en el subcapítulo 3.

C.Herrero participó en el subcapítulo 4.

E.J. Alfaro, A.G. Muñoz y N.P. Mora: subcapítulo 5.

6. Conclusiones

La cobertura de agua potable en las ciudades más importantes de Costa Rica es bastante alta en general. Sin embargo, en algunas ciudades se dan racionamientos de agua en la época seca. Aunque la sobreexplotación de recursos hídricos en algunas regiones es la principal causa del problema, la disponibilidad de agua podría mejorarse si se redujera la cantidad de pérdidas en el sistema de abastecimiento. Las pérdidas de agua son bastante importantes y limitan la obtención de créditos para el mejoramiento del sistema por parte de entidades financieras que exigen que se reduzcan estas pérdidas como requisito. También se ha argumentado que es necesaria la creación de planes de ordenamiento territorial, que protejan fuentes de abastecimiento de aguas superficiales y subterráneas.

Sin embargo, el reto más importante en cuanto a abastecimiento y saneamiento de aguas en el país se refiere a las bajas coberturas de alcantarillado sanitario y principalmente el porcentaje tan bajo del agua que es tratada antes de ser vertida a los ríos. La construcción de una nueva planta de tratamiento en la GAM es un paso en la dirección correcta de aumentar este porcentaje. Sin embargo, hay mucho por hacer al respecto. La costumbre de usar tanques sépticos es generalizada en el país, aunque es menor en las zonas urbanas. Se ha criticado su uso, ya que en muchos casos no se les da el mantenimiento adecuado, y en otras ocasiones se han construido estos tanques con desagües hacia suelos poco permeables. Tampoco hay estudios que midan la contaminación de estos tanques hacia mantos acuíferos usados para el abastecimiento de agua.

Sin lugar a dudas, la falta de infraestructura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento o el deterioro de los mismos, ha propiciado en ciertos sectores del país la presencia de enfermedades transmisibles tales como cólera, fiebre tifoidea, salmonelosis, shigelosis, amebiasis, giardiasis, otras infecciones intestinales, hepatitis viral, etcétera (AyA, 2002). Las enfermedades que han sido relacionadas con el agua y detectadas en el país son, entre otras, las siguientes: disentería amebiana, disentería bacilar, enfermedades diarreicas (incluyendo las dos anteriores), cólera, hepatitis A, fiebre paratifoidea y tifoidea, poliomiелitis, esquis-

tosomiasis, dengue y paludismo. La variabilidad y el cambio climático, así como los cambios en el uso del suelo –como la urbanización–, han traído como consecuencia graves problemas de inundaciones en las principales ciudades del país. De hecho, la Sala Constitucional se ha pronunciado en relación con la necesidad de que se busque una solución a algunos de los problemas más graves de inundación en algunas ciudades.

Estudios recientes han indicado que en Costa Rica se esperan reducciones de la escorrentía en las próximas décadas. Sin embargo, cabe destacar que paradójicamente estas reducciones climáticas podrían ser acompañadas de una tendencia hacia eventos extremos positivos más grandes. Esto por cuanto las reducciones en la escorrentía ocurrirían a escalas de tiempo mensuales o anuales, mientras que los eventos meteorológicos son del orden de horas a días.

Las inundaciones urbanas en Costa Rica están relacionadas con tres factores de origen: 1) inadecuada capacidad de las obras pluviales y ríos, 2) cambios en el uso de la tierra (e.g. urbanización), y 3) cambio climático (e.g. aumento en los eventos extremos). Es imprescindible determinar la contribución relativa de estos factores.

7. Recomendaciones

Es necesaria una mayor conciencia acerca del problema del tratamiento de aguas negras y se debe invertir más recursos en plantas de tratamiento en zonas urbanas. La contaminación de los ríos urbanos es quizás el mayor problema relacionado con el recurso hídrico en aguas urbanas.

En cuanto a las inundaciones urbanas es necesaria una mayor cantidad de estudios que determinen la solución a estos problemas. Cada cuenca tiene características particulares, lo que hace difícil encontrar un tipo de solución única para todos los casos. En algunos lugares se está obligando a los desarrolladores de nuevas urbanizaciones a proveer un sistema para disponer de las aguas pluviales. Esto generalmente se hace por medio de lagunas de infiltración. Desafortunadamente, hay casos en que

las lagunas se abandonan una vez que los permisos de construcción han sido aprobados y hace falta un mejor control por medio de las municipalidades y ministerios encargados de verificar la correcta operación de estas lagunas.

Hace falta incorporar aspectos relacionados con el cambio climático proyectado en la planificación integrada del recurso hídrico. Debido a la incer-

tidumbre de las proyecciones de cambio climático, es necesario un mecanismo de planificación que incluya un manejo adaptativo del recurso hídrico en el cual las proyecciones climáticas a largo plazo guían planificación a más corto plazo, y pasado un cierto número de años se revisan las proyecciones climáticas y la planificación a corto plazo para seguir avanzando.

8. Referencias

- Aguilar, E. *et al.* (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J Geophys Res Atmos*, 110 (D23). doi:10.1029/2005JD006119.
- Alexander, L.V. *et al.* (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Alfaro, E. y A. Quesada (2010). Ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica. *Revista Intersedes*, 11(22), 136-153.
- Alfaro, E. y P. M. Pérez-Briceño (2014). Análisis del impacto de fenómenos meteorológicos en Costa Rica, América Central, originados en los mares circundantes. *Revista de Climatología*, 14, 1-11.
- Alfaro, E. (2002). Some Characteristics of the Annual Precipitation Cycle in Central America and their Relationships with its Surrounding Tropical Oceans. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(2), 88-103.
- Alfaro, E.; A. Quesada y F. Solano (2010). Análisis del impacto en Costa Rica de los ciclones tropicales ocurridos en el Mar Caribe desde 1968 al 2007 (Analysis of Caribbean Sea tropical cyclones occurrences from 1968 to 2007 and their impact in Costa Rica). *Revista Diálogos*, 11(2), 22-38. <http://historia.fcs.ucr.ac.cr/>.
- Alfaro, E.; J. Soley y D. Enfield (2003). *Uso de una Tabla de Contingencia para Aplicaciones Climáticas (Use of a Contingency Table for Climatic Applications)*. Guayaquil, Ecuador: ESPOL y FUNDESPOL. 51pp. ISBN 9978-310-00-2.
- Alfaro, E.; L. Cid y D. Enfield (1998). Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Investigaciones Marinas*, 26, 59-69.
- Alfaro, E. (2007). Escenarios climáticos para temporadas con alto y bajo número de huracanes en el Atlántico. *Revista de Climatología*, 7, 1-13.
- Alianza Clima y Desarrollo (2012). La Gestión de Riesgos de Eventos Extremos y Desastres en América Latina y el Caribe: Aprendizajes del Informe Especial (SREX) del IPCC, disponible en www.cdkn.org/srex
- Alvarado, L.; Contreras, W.; Alfaro M. y Jiménez, S. (2011 y 2012). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. San José, Costa Rica: Departamento de Climatología e Investigación Aplicada. Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Ministerio de Ambiente y Energía (MINAET).
- Amador, J. y E. Alfaro (2009). Métodos de reducción de escala: Aplicaciones al clima, variabilidad y cambio climático. *Revista REVIBEC*, 11, 39-52.

- Arias, A.L. (2010). "Situación de Potabilización y Saneamiento en Costa Rica". En: *Decimosexto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. 36 pp.
- AyA (2002). Análisis Sectorial Agua Potable y Saneamiento de Costa Rica. Informe Final 2002. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 420 pp.
- AyA (2004). Información estadística, Servicios, Consumo, Producción, Facturación, Cobranza y Cobertura 1992-2002. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Dirección de Planificación. 84 pp.
- AyA (2013). Zonificación para disponibilidad de agua potable para el Acueducto Metropolitano. Subgerencia Gestión de Sistemas-Gran Área Metropolitana. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 3 pp.
- Barnett, T.P. *et al.* (2008). Human-induced changes in the hydrology of the western US. *Science*, 319: 1080-1083.
- Becker, B.; C. Buontempo y Á.G. Muñoz (2014). Drivers of weather and climate risk in El Salvador. Technical Report. UK MetOffice – Hadley Centre. 40 pp. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/264079006_Drivers_of_weather_and_climate_risk_in_El_Salvador?ev=prf_pub. (Recuperado el 11 de agosto de 2014).
- Brekke, L.D.; M.D. Dettinger; E.P. Maurer y M. Anderson (2008). Significance of model credibility in estimating climate projection distributions for regional hydroclimatological risk assessments. *Clim. Change*, 89: 371-394.
- Corrales L. (2010, diciembre). "Informe final Efectos del Cambio Climático para Centro América". En: Cuarto Informe Estado de la Región. 53 pp.
- Delworth, T.L. *et al.* (2012). Simulated Climate and Climate Change in the GFDL CM2.5 High-Resolution Coupled Climate Model. *Journal of Climate*, 25: 2755-2781.
- Donoso, M. and P. Ramirez (2001). Latin America and the Caribbean: Report on the Climate Outlook Forums for Mesoamerica. In: Coping with the climate: A step Forward. Workshop Report "A multi-stakeholder review of Regional Climate Outlook Forums", October 16-20 (2000), Pretoria, South Africa. Publication IRI-CW/01/1, pp. 11-18.
- EF (2012). "Planta de tratamiento de la GAM entrará en operación parcialmente". *El Financiero*. <http://www.elfinancierocr.com> (Recuperado el 28 de septiembre de 2012).
- García-Solera, I. y P. Ramírez (2012). Central America's Seasonal Climate Outlook Forum. The Climate Services Partnership, 8 pp. http://www.climate-services.org/sites/default/files/CRRH_Case_Study.pdf (Recuperado el 16 de enero de 2014).
- Greene, A.; L. Goddard y R. Cousin (2011). Web Tool Deconstructs Variability in Twentieth-Century Climate. *EOS* 92, 45, 397-408.
- Hidalgo H.G. (2011). Los recursos hídricos en Costa Rica: un enfoque estratégico. En *Diagnóstico del Agua en Las Américas*. Interamerican Network of Academies of Sciences, pp. 203-219.
- Hidalgo H.G. (2010). Impactos de la variabilidad y cambio hidro-climático en sistemas humanos y ambientales: preparación de desastres, manejo de recursos hídricos y planeamiento. *Estrategia 2050*. 3:12-14.
- Hidalgo H.G. y E.J. Alfaro (2012). Global Model selection for evaluation of Climate Change projections in the Eastern Tropical Pacific Seascape. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 60:67-81.
- Hidalgo H.G.; J.A. Amador; E.J. Alfaro y B. Quesada (2013). Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology*, 495: 94-112.
- Hidalgo, H.G. and E.J. Alfaro (2012). Some Physical and Socio-economical Aspects of Climate Change in Central America. *Progress in Physical Geography*, 36(3), 380-399.
- Hirota, N., Y.N. Takayabu, M. Watanabe, and M. Kimoto (2011). "Precipitation Reproducibility over Tropical Oceans and Its Relationship to the Double ITCZ Problem in CMIP3 and MIROC5 Climate Models". *Journal of Climate*, 24: 4859-4873.

- Imbach, P. *et al.* (2012). Modeling Potential Equilibrium States of Vegetation and Terrestrial Water Cycle of Mesoamerica under Climate Change Scenarios. *Journal of Hydrometeorology*, 13: 665-680.
- INEC (2013). *Mortalidad infantil y evolución reciente*. Gobierno de Costa Rica, Instituto Nacional de Estadística y Censos. 8 pp.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. Van der Linden, C. Hanson (Eds). Cambridge: Cambridge University Press. 841pp.
- IRI (2001). Latin America Regional Report. In: Coping with the climate: A step Forward. Workshop Report "A multi-stakeholder review of Regional Climate Outlook Forums", October 16-20 (2000), Pretoria, South Africa. Publication IRI-CW/01/1, pp. 136-138.
- Jiang X. *et al.* (2012). Simulation of the intraseasonal variability over the Eastern Pacific ITCZ in climate models. *Climate Dynamics*, 39: 617-636.
- Kalnay, E. *et al.* (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77: 437-471.
- Karmalkar, A. V., R. S. Bradley y H. F. Díaz (2011). Climate change in Central America and Mexico: regional climate model validation and climate change projections. *Climate Dynamics*, 37: 605-629, doi: 10.1007/s00382-011-1099-9.
- Kerr R.A. (2010). Models Foresee More-Intense Hurricanes in the Greenhouse. *Science*, 327: 399-399.
- La Nación (2014). "Costa Rica invertirá \$750.000 millones para tratar las aguas negras y sanear ríos". Periódico *La Nación*. <http://www.nación.com> (Recuperado el 8 de febrero de 2014).
- Liu, H.L.; M.H. Zhang y W.Y. Lin (2012). An Investigation of the Initial Development of the Double-ITCZ Warm SST Biases in the CCSM. *Journal of Climate*, 25: 140-155.
- Maldonado, T. y E. Alfaro (2011). Predicción estacional para ASO de eventos extremos y días con precipitación sobre las vertientes Pacífico y Caribe de América Central, utilizando análisis de correlación canónica. *Revista Intersedes*, 13 (24), 78-108.
- Maldonado, T.; E. Alfaro; B. Fallas and L. Alvarado (2013). Seasonal prediction of extreme precipitation events and frequency of rainy days over Costa Rica, Central America, using Canonical Correlation Analysis. *Advances in Geosciences*, 33, 41-52.
- Mantua, N.J.; S.R. Hare; Y. Zhang, J.M. Wallace y R.C. Francis (1997). A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, pp 1069-1079.
- Martin, E. R. y C. Schumacher (2011). The Caribbean low-level jet and its relationship with precipitation in IPCC AR4 models. *J. Climate*, 24:5935-5950.
- Meehl, G.A.; J.M. Arblaster y C. Tebaldi (2007). Contributions of natural and anthropogenic forcing to changes in temperature extremes over the United States. *Geophysical Research Letters*, L19709, doi:10.1029/2007GL030948.
- MINAET (2000). Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía. Producción y edición: Instituto Meteorológico Nacional. 116 pp.
- MINAET (2009). Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía. Producción y edición: Instituto Meteorológico Nacional. 264 pp.
- MINAET. Informe final del Proyecto: Mejoramiento de las capacidades nacionales para la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación del sistema hídrico al cambio climático en Costa Rica, como mecanismo para disminuir el riesgo al cambio climático y aumentar el índice de desarrollo humano. Ministerio de Ambiente y Energía. Producción y edición: Instituto Meteorológico Nacional. 46 pp.
- Moreno Díaz, M. L. (2009). Valoración económica del uso de tecnologías de saneamiento ecológico para aguas residuales domiciliarias. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 13, 1-13.
- Muñoz, Á.G. *et al.* (2010). An Environmental Watch system for the Andean countries: El Observatorio Andino. *Bulletin of the American Meteorological Society-BAMS*, 91, 1645-1652.

- Muñoz, Á.G. (2012). Risk Management at the Latin American Observatory. Chapter 22 in *Risk Management - Current Issues and Challenges*. ISBN: 978-953-51-0747-7, 24 pp.
- Neelin, J.D.; M. Munnich; H. Su; J.E. Meyerson y C.E. Holloway (2006). Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103:6110-6115.
- OLADE (2013). Vulnerabilidad al cambio climático de los sistemas de producción hidroeléctrica en Centroamérica y sus opciones de adaptación. Informe de consultoría. Organización Latinoamericana de Energía.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2012). Guía del usuario sobre el índice estandarizado de precipitación (OMM-N° 1090). M. Svoboda, M. Hayes y D. Wood (eds.). Ginebra. 15 pp.
- Pierce, D.W. *et al.* (2008). Attribution of declining western US snowpack to human effects. *Journal of Climate*, 21: 6425-6444.
- Pierce, D.W.; T.P. Barnett; B.D. Santer & P.J. Gleckler (2009). Selecting global climate models for regional climate change studies. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 106: 8441-8446.
- Rauscher S.A.; F. Giorgi; N.S. Diffenbaugh and A. Seth (2008). Extension and Intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. *Climate Dynamics*, 31:551-571.
- Trenberth, K.E. *et al.* (2007). "Observations: surface and atmospheric climate change". In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K, Tignor M, Miller H (eds.). *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Chap 3. New York: Cambridge University Press, pp. 235-336.
- Ministerio de Salud (2011). Análisis y determinantes sociales de la situación de salud. Memoria institucional, pp. 26-84. Ministerio de salud.

9. Colaboradores

Roberto Villalobos Herrera (rvillaloboscr88@gmail.com)
Estudiante, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Jorge Aguilar Barboza (jaguilar@aya.go.cr)
Unidad de Gestión de Información, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Javier Valverde Hernández (jvalverde@aya.go.cr)
Subgerencia de Gestión de Sistemas, GAM, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Marcos Quesada Sanabria (maquesada@aya.go.cr)
Subgerencia de Gestión de Sistemas, GAM, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Ana L. Arias Zúñiga (ana.lorena@itcr.ac.cr)
Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Alejandra Rojas González (alejandra.rojasgonzales@ucr.ac.cr)
Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica

Matías A. Chaves Herrera (matias61@gmail.com)
Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica

10. Acrónimos

ASADAS	Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados.
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
CEPAL	Comisión Económica para América Latina.
CMIP3	Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados 3.
CMIP5	Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados 5.
GAM	Gran Área Metropolitana.
EF	El Financiero (Periódico).
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur.
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia.
FAPM	Fuentes de agua potable mejoradas.
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos.
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
IRI	International Research Institute for Climate and Society.
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón.
LNA	Laboratorio Nacional de Aguas.
MCG	Modelos (climáticos) de Circulación General.
MINAET	Ministerio del Ambiente, Energía y Mares de Costa Rica.
NCEP-NCAR	Reanálisis Base de datos meteorológicos del National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research de los Estados Unidos de América.
ODP	Oscilación Decadal del Pacífico.
OLE	Observatorio Latinoamericano de Eventos Extraordinarios.
OMM	Organización Meteorológica Mundial.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PCM	Programa Conjunto de Monitoreo.
RCOF	Foros Regionales de Predicción Climática.
SPI	Índice estandarizado de precipitación.
TN10	Número de noches frías (menor al percentil 10).
TN90	Número de noches cálidas (mayor al percentil 90).
TX10	Número de días fríos.
TX90	Número de días cálidos.
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Niñez.
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical.

Sandra Lorena Galarza Molina

Ingeniera Civil (2005) y MSc en Hidrosistemas (2011) de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. A finales del 2011 inicia sus estudios de Doctorado en la misma universidad adelantando investigaciones relacionadas con la evaluación ambiental de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) utilizados como elementos para el aprovechamiento de aguas lluvias en una cuenca piloto. Email: sgalarza@javeriana.edu.co o salogamo@gmail.com

Juan Diego Giraldo Osorio

Profesor Asistente de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Ingeniero Civil la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, MSc en Ingeniería Civil con énfasis en gestión de recursos hídricos de la Universidad de los Andes y PhD gestión de recursos hídricos de la Universidad Politécnica de Cartagena (España). Actualmente es director del grupo de investigación “Ciencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente”. Su interés investigativo está enfocado hacia temas de cambio climático y adaptación, asimilación de datos de teledetección en modelación, e hidrología. Email: j.giraldoo@javeriana.edu.co

Milton Duarte

Ingeniero Sanitario (2004) de la Universidad del Valle. En el año 2011 ingresa a la Maestría en Hidrosistemas de la Pontificia Universidad Javeriana. Se ha desempeñado como ingeniero consultor con firmas como INGES-AM LTDA, Estudios Técnicos S.A.S, DESSAU CEI, CDM SMITH. Desde el año 2012 pertenece al grupo de investigación Ciencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente

Sandra Méndez-Fajardo

Ingeniera Civil (Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia). Magíster en Ingeniería Civil con énfasis ambiental (Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia). Profesora Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Estudiante Doctorado en Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Email: sandra.mendez@javeriana.edu.co

Costa Rica

Hugo G. Hidalgo (Coordinador del capítulo)

Profesor e investigador en hidrología de aguas superficiales, con especial interés en la hidroclimatología. El Dr. Hidalgo obtuvo la Licenciatura en Ingeniería Civil en la Universidad de Costa Rica (1992), y una Maestría en Ciencias (1998) y Ph.D. (2001) en Ingeniería Civil y Ambiental con especialidad en Recursos Hídricos de la Universidad de California, Los Angeles. El Dr. Hidalgo actualmente es profesor de la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica. Es coordinador de la Maestría Académica en Hidrología, Punto Focal del Programa de Aguas de la Red Interamericana de Academias de Ciencias y Subdirector del Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica. Es autor de más de 30 publicaciones diversas y ha participado en más de 100 conferencias, seminarios y talleres. Email: hugo.hidalgo@ucr.ac.cr

Ángel G. Muñoz

Investigador en Ciencias del Clima en el International Research Institute for Climate and Society (IRI) de Columbia University, y estudiante de doctorado en el Departamento de la Tierra y el Medioambiente en esa universidad. Después de graduarse en la Universidad del Zulia con una licenciatura en física, Muñoz recibió una Maestría en Ciencias de la Tierra y el Medioambiente en Columbia. Sus investigaciones se centran en los fenómenos extremos del clima en Latinoamérica, dinámica de la atmósfera, modelos climáticos y servicios climáticos en América Latina. Fue profesor asociado en el Departamento de Física de la Universidad del Zulia, y coordinador del Área de Geociencias en el Centro de Modelación Científico en Venezuela.

Email: ude.aibmuloc.iri@zonumga

Carolina Herrero

Licenciada en Ingeniería Civil (Universidad Isaac Newton). Cursando actualmente maestría en Hidrología en la Universidad de Costa Rica. Profesionalmente se ha especializado en obras de infraestructura desde su primer trabajo en la empresa constructora Urbasco, posteriormente labora en la empresa Franz Sauter y Asociados como diseñadora de obras exteriores. Se independiza y establece su empresa Ph-C Ingenieros Consultores, la cual realiza diseños e inspecciones de proyectos de infraestructura que incluyen estudios hidrológicos, tanque de retención pluvial, etc.

Eric J. Alfaro

Bachiller y Licenciado en Meteorología de la Universidad de Costa Rica y Doctor en Oceanografía de la Universidad de Concepción, Chile. Trabajó como Meteorólogo en el Instituto Meteorológico Nacional. Actualmente, es profesor catedrático en la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica, donde ha desempeñado cargos docentes desde 1989, es miembro de la Comisión de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera y miembro de la Comisión de Posgrado en Gestión Integrada de Áreas Costeras Tropicales, ambos del Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica. También se desempeña como Investigador del Centro de Investigaciones Geofísicas, 1992 al presente del cuál actualmente es el Director y como investigador del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica, 2000 al presente.

Email: erick.alfaro@ucr.ac.cr

Natalie Mora

Estudiante en la carrera de Meteorología en la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica, ha colaborado como asistente en diversos proyectos de investigación del Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica. Email: natali.mora@ucr.ac.cr

Víctor H. Chacón

Analista de Sistemas, (División de Informática), Analista de Soporte (Auditoría del AyA), Capacitador e Instructor del (AyA - Comité Técnico Regional de Participación Comunitaria, Educación Sanitaria e Higiene Personal - CAPRE, Analista de Sistemas en Cuencas Hidrográficas - CARE , Proceso Acueductos Rurales - Promotor Asesoría Técnica Administrativa - WKF, Director de Ambiente Municipalidad de Pérez Zeledón, Área de Planificación de la C.N.E., Coordinador Nacional en la CONIFOR del AyA, Especialista Sistemas Comunales en Desastres, Especialista en Sistemas Comunales en Social-Ambiental.

Darner A. Mora

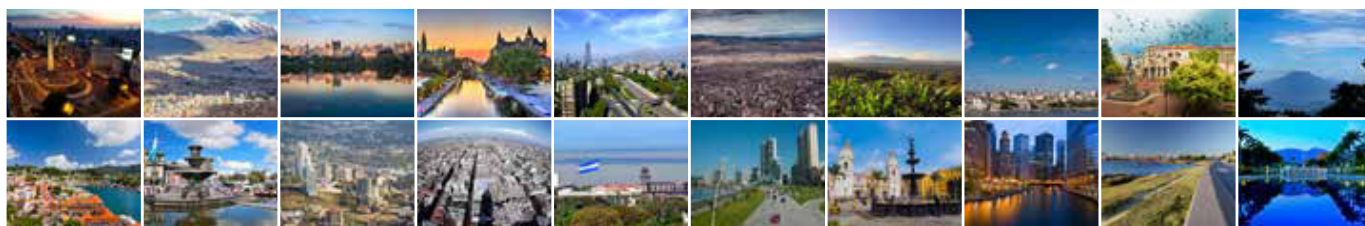
Funcionario del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados desde 1977, y Director del Laboratorio Nacional de Aguas desde 1989. Dio sus primeros pasos de vida educativa en la Escuela República de Nicaragua, pasando luego a cursar la secundaria en el Colegio Nuevo de San José, y posteriormente sus estudios superiores de Licenciatura en Microbiología y Química Clínica y Maestría Salud Pública en la Universidad de Costa Rica. Ha publicado tres libros, alrededor de 150 artículos de opinión en diferentes periódicos nacionales, y más de 100 trabajos de investigación en los temas de agua, ambiente y salud, lo que le acredita en el medio como toda una autoridad en estos temas medulares de la salud pública costarricense.

Mary L. Moreno (Recuadro sobre Servicios ambientales)

Master en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente de la Universidad de Concepción (Chile). Investigadora en las áreas de valoración económica de recursos naturales y evaluación de políticas ambientales en el Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible (CINPE) de la Universidad Nacional, Costa Rica. Algunos de los temas específicos de trabajo son las Áreas Silvestres Protegidas, Áreas Forestales Privadas y Zonas Costeras. Profesora en el mismo Centro de los cursos de Valoración Económica; Economía, Ecológica y Desarrollo Sostenible; y Microeconomía de la maestría en Política Económica con énfasis en Economía Ecológica. Email: mary.moreno.diaz@una.cr

DESAFÍOS DEL AGUA URBANA EN LAS AMÉRICAS

Perspectivas de las Academias de Ciencias



Las Américas se encuentra entre las regiones más urbanizadas del mundo (> 80%). La urbanización va de la mano con la intensificación del uso de los recursos hídricos para las necesidades humanas; a su vez, los sistemas hidrológicos juegan un papel en el desarrollo y crecimiento de las ciudades no sólo como fuentes de agua potable, sino también para la deposición de residuos. *Desafíos del Agua Urbana en las Américas* describe y analiza los problemas en materia de agua en centros urbanos de 20 países de las Américas: desde América del Sur, América Central, México y el Caribe, hasta los Estados Unidos y Canadá. Este particular compendio de experiencias sobre aguas urbanas en las Américas se encuentra sustentado por una amplia representación geográfica que toma en cuenta las diferencias en cuanto a disponibilidad de los recursos hídricos y los niveles de desarrollo económico.

Los retos principales de este libro de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) son: ¿Se pueden solucionar los problemas de abastecimiento de agua y saneamiento urbano mediante una mejor gestión de los mismos? ¿Se puede mejorar el acceso al agua potable? ¿Es posible dar solución a los retos de mejora de saneamiento y gestión de aguas residuales? ¿Puede mejorarse la atención que se presta actualmente a los problemas de salud y enfermedades transmitidas por el agua en las zonas urbanas? ¿Cuáles son los desafíos de adaptación al cambio climático relacionados con el agua en las zonas urbanas y cómo pueden solucionarse? ¿Cuáles son los modelos y conceptos a seguir que contribuyen a mejorar la gestión del agua en las zonas urbanas?

La obra pretende constituirse en una herramienta para la búsqueda de soluciones a los desafíos de la gestión adecuada de los recursos hídricos en zonas urbanas.