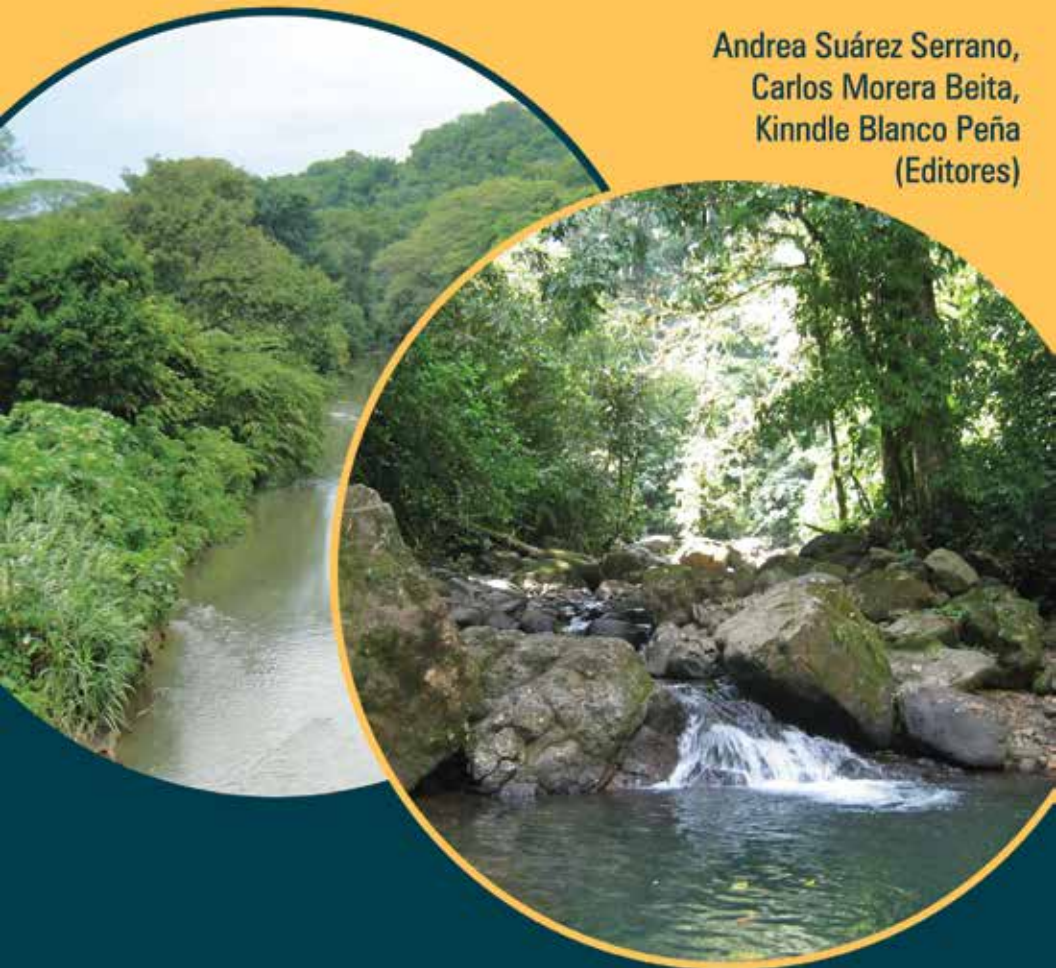


Andrea Suárez Serrano,
Carlos Morera Beita,
Kinndle Blanco Peña
(Editores)



GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS: EXPERIENCIAS Y PERSPECTIVAS DESDE LA UNA 2014



**GESTIÓN DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS:
EXPERIENCIAS Y
PERSPECTIVAS DESDE LA UNA**

Andrea Suárez Serrano,
Carlos Morera Beita,
Kinndle Blanco Peña
(Editores)

GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS: EXPERIENCIAS Y PERSPECTIVAS DESDE LA UNA

Esta publicación recopila la experiencia de la
Universidad Nacional de hace cuarenta años en materia
de gestión de cuencas e identifica los retos futuros en este tema.





euna



EUNA

Editorial Universidad Nacional

Heredia, Campus Omar Dengo, Costa Rica

Teléfono: 2277-3825

Correo electrónico: euna@una.cr

Apartado Postal: 86-3000 (Heredia, Costa Rica)



Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias
y perspectivas desde la UNA

Andrea Suárez Serrano,

Carlos Morera Beita,

Kinndle Blanco Peña

(Editores)

Primera edición 2015

551.48

G393g

Gestión de cuencas hidrográficas : experiencias y perspectivas desde la UNA / Andrea Suárez Serrano, Carlos Morera Beita, Kinndle Blanco Peña (editores). --1. ed. -- Heredia, C.R. : EUNA, 2015.

197 p. : il. col. ; 21 cm.

ISBN 978-9977-65-426-3

1. GESTIÓN 2. CUENCAS HIDROGRÁFICAS 3. UNIVERSIDAD NACIONAL (COSTA RICA) 4. GOBERNABILIDAD 5. ORDENACIÓN DE CUENCAS I. Suárez Serrano, Andrea II. Morera Beita, Carlos III. Blanco Peña, Kinndle Marta

Editora: Alexandra Meléndez C. amelende@una.cr

Diseño de portada: Jania Umaña

De conformidad con el Artículo de la Ley N. 6683, Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos, se prohíbe la reproducción parcial o total no autorizada de esta publicación por cualquier medio o procedimiento mecánico electrónico, con excepción de lo estipulado en los artículos N. 70 y N. 73 de la misma ley, en los términos que estas normas y su reglamentación delimitan (Derecho de cita y Derecho de Reproducción no autorizada con fines educativos).

CONTENIDO

| | |
|--|------------|
| PRÓLOGO | 9 |
| Capítulo 1 Aspectos conceptuales sobre gestión de cuencas hidrográficas..... | 15 |
| Capítulo 2 Los retos de la gobernabilidad de las cuencas transfronterizas en América Central y el rol de la Convención de Nueva York (1997)..... | 35 |
| Capítulo 3 Agua en la actualidad: orientaciones y retos para abordar el tema de la gobernabilidad del agua en la agenda de investigación universitaria..... | 61 |
| Capítulo 4 Evaluación de residuos de sustancias tóxicas en las aguas..... | 89 |
| Capítulo 5 Investigación del Laboratorio de Hidrología Ambiental en aguas subterráneas del Valle Central y Pacífico de Costa Rica..... | 133 |
| Capítulo 6 Gestión de cuencas en la UNA: Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica Morote, Guanacaste..... | 169 |
| CONTRIBUYENTES..... | 194 |

PRÓLOGO

La gestión integrada de cuencas es un reto fundamental y complejo en la sociedad costarricense actual, debido a que considera diversos factores, tales como: geofísicos, químicos, geográficos, biológicos, sociales, económicos, culturales y políticos. A lo anterior, se deben sumar los procesos que agudizan las condiciones de las cuencas hidrográficas del país, por ejemplo: la expansión urbana, el crecimiento de actividades agrícolas con altos insumos de agroquímicos, el cambio climático, la falta de políticas públicas coherentes, entre otros. Las 34 cuencas hidrográficas que conforman el territorio continental del país se encuentran bajo algún nivel de amenaza o afectadas por factores adversos que deterioran su calidad socioambiental. Lo anterior obliga a generar acciones urgentes, tanto en el ámbito nacional como regional y local, para detener su detrimento y, en algunos casos, iniciar actividades que promuevan su recuperación.

En este siglo, uno de los principales desafíos socioambientales que enfrenta nuestro país, como la mayoría de las naciones, es la gestión pertinente de las cuencas hidrográficas para proteger sus acuíferos, los cuales, a pesar de ser una fuente primordial de abastecimiento de agua potable y de riego, son susceptibles a la contaminación, tanto fecal como química, incluyendo: plaguicidas, hidrocarburos y contaminantes emergentes, producto del crecimiento urbano en las áreas de recarga, como lo demuestran algunos resultados de investigaciones que se exponen en esta obra.

Por otro lado, la intervención humana adecuada en la planificación de las cuencas se debe orientar a la disminución de la incidencia de los desastres naturales, los cuales se agudizan con las condiciones del cambio climático.

La situación crítica de las cuencas hidrográficas evidencia importantes pérdidas humanas y materiales, así como la erosión de sus condiciones ecológicas, lo que influye en el deterioro de la calidad del agua en todos los ecosistemas acuáticos y terrestres. Lo anterior se relaciona con la ausencia de un ordenamiento territorial pertinente, la reducción de cobertura boscosa, el uso inadecuado de suelos, los altos procesos de contaminación y la emergencia o reemergencia de enfermedades humanas.

La temática ha sido objeto de estudio mediante diversos proyectos ejecutados en la UNA. De hecho, durante la última década se incrementó en más de un doscientos por ciento el número de investigaciones vinculadas a la materia, las cuales están dispersas en las diferentes regiones del país, aplican distintos paradigmas y son ejecutadas, con abordajes multidisciplinarios, desde distintas unidades académicas, tales como: Ciencias Ambientales, Ciencias Geográficas, Química, Ciencias Biológicas, Instituto de Estudios de la Población (IDESPO), Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), entre otras. Estos hechos han consolidado a la Universidad como una de las principales generadoras de conocimiento sobre este tópico en el entorno nacional.

De acuerdo con el reto institucional de socializar el conocimiento concebido, la Vicerrectoría de Investigación ideó la articulación del conocimiento generado durante los últimos años por los principales grupos de investigadores e investigadoras que abordan la temática a través de la generación de un texto. Así emerge la idea de la publicación del libro *Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y perspectivas desde la UNA*, para lo cual se realizaron talleres de trabajo que dieron origen a sus diferentes apartados por medio de la sistematización de la información, en temas tan relevantes como: la participación ciudadana en la gestión, los retos de la gobernabilidad de las cuencas transfronterizas en América Central, la

evaluación de residuos de sustancias tóxicas en las aguas y las orientaciones y los retos para abordar el tema de la gobernabilidad del agua en la agenda de investigación universitaria.

Los diferentes capítulos desarrollados permiten al lector la comprensión del trabajo de la Universidad sobre la gestión integral de cuencas hidrográficas en diferentes zonas del país. El capítulo 1 introduce a la gestión de cuencas hidrográficas. Explica los modelos de gestión que han sido desarrollados (cogestión de cuencas, cogestión adaptativa, gestión integrada, gestión incorporada), cuál ha sido la participación ciudadana costarricense en estos procesos y los resultados obtenidos a partir de esta, ejemplificándose los casos de la Cuenca del Río Grande de Tárcoles, del Proyecto de Desarrollo Sostenible de la Cuenca Hidrográfica del Río Savegre, de la red interinstitucional constituida por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, el Ministerio de Ambiente y Energía, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Instituto Nacional de Biodiversidad y el Instituto Costarricense de Electricidad, del Plan de Manejo de la Cuenca del Río Reventazón y de la Cuenca del Río Virilla. Además, profundiza en el proceso de gestión de la Microcuenca del Río Burío-Quebrada Seca, sobre todo en las estrategias realizadas para la disminución de la brecha entre la gestión política e institucional y la gestión local participativa, los métodos para la planificación, el seguimiento y la evaluación de los procesos ejecutados y las técnicas utilizadas por el Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico para la promoción de la gestión de cuencas de la Escuela de Química.

Los capítulos 2 y 3 versan sobre temas cruciales para la gobernabilidad en las cuencas. El capítulo 2 revela al lector los procesos políticos que han llevado a la fragmentación de las cuencas transfronterizas, sus características y grandes desafíos en términos de gobernabilidad y de diseño de mecanismos institucionales para su gestión. Analiza, además, la

Convención de Nueva York, de forma que sus alcances sean fácilmente comprensibles. El capítulo 3, por su parte, brinda antecedentes importantes sobre la incorporación de la gobernabilidad del agua en la agenda internacional para su protección, acceso y gestión, así como también detalla las escalas espaciales para que esta se implemente y los retos para su conservación, los cuales son criterios fundamentales en la definición de políticas públicas en el país.

Un aspecto primordial en la generación de conocimiento sobre las cuencas hidrográficas es abordar las dinámicas de las aguas superficiales y las subterráneas (capítulos 4 y 5, respectivamente). Desde 1998, el IRET genera información relacionada con el uso de contaminantes químicos en el país y en la región. Cuenta con registros actualizados de la importación y el uso de plaguicidas agrícolas en Costa Rica, lo que representa un valioso insumo que debe ser considerado por los tomadores de decisiones. Así, desde un enfoque sistémico, se realiza el análisis de los flujos de plaguicidas en los ecosistemas asentados en una cuenca hidrográfica. El capítulo 4 hace referencia, además, a las metodologías de estudio que han sido aplicadas en distintos proyectos y profundiza en los resultados de investigaciones ejecutadas en cuencas del sector central (cuenca alta del río Reventazón en Cartago), del Pacífico Central y Norte (cuencas de los ríos Tempisque, Bebedero y Tárcoles) y del Caribe (cuencas del río Suerre y Área de Conservación Tortuguero, Reventazón-Parismina y Madre de Dios).

Por su parte, el capítulo 5 introduce al lector en la materia de aguas subterráneas. Para ello, caracteriza los sistemas acuíferos del Valle Central y Barva y expone los resultados de investigaciones generadas por el Laboratorio de Hidrología Ambiental, desde los años 90, en estas zonas acerca de la contaminación por nitratos y por cambios de uso del suelo. Un aspecto fundamental lo constituye la explicación del

diseño e implementación de herramientas para la protección de la calidad del agua, especialmente en las áreas de recarga de las subcuencas de los ríos Bermúdez, Segundo y Ciruelas, así como del Plan de Seguridad del Agua en la ASADA de San José de la Montaña, el mapa de vulnerabilidad hidrogeológica del cantón de Barva y la evaluación de acuíferos en el litoral Pacífico.

Por último, en el capítulo 6 se presenta el trabajo ejecutado en la cuenca del río Morote con un enfoque socioambiental, que une los elementos fundamentales de la gestión participativa de las cuencas desde la labor que realiza la UNA con los esfuerzos de los principales actores sociales en la búsqueda de una mejor gestión de las cuencas hidrográficas, e incorpora una visión articuladora de estos espacios desde las áreas montañosas hasta las áreas costeras.

Con la socialización de este conocimiento, el país avanza en una gestión adecuada de las cuencas hidrográficas, por lo cual todos deberíamos leer este libro y entender cuál debe ser nuestro aporte para resolver este problema. Aquí, estudiantes, académicos y público en general encontrarán respuestas a sus inquietudes e intereses en el área temática correspondiente. Los insto, muy cordialmente, a detenerse en la lectura, revisión y análisis de la información aquí contenida como una forma de enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, para apoyar la toma de decisiones en el ámbito nacional, local y regional en la definición de políticas públicas y generar criterios científicos que faciliten el avance hacia un planeta sustentable.

*Dr. Carlos Morera Beita
Vicerrector de Investigación
Universidad Nacional*

CAPÍTULO 1

Aspectos conceptuales sobre gestión de cuencas hidrográficas

M.Sc. Viviana Salgado Silva

M.Sc. Juana María Coto Campos

M.Sc. Ana Cristina Benavides Benavides

Los procesos de gestión de cuencas son el resultado de la conjunción de esfuerzos de las instituciones y de las autoras y los actores sociales dirigidos al aprovechamiento sustentable de los recursos, para solventar las necesidades de las usuarias y los usuarios de una determinada unidad hidrográfica. Es decir, es el conjunto de acciones con las que se ponen en práctica los planes de manejo diseñados para el aprovechamiento y conservación de los recursos y para el bienestar de las personas, tanto endógeno como exógeno.

La gestión puede hacerse desde diferentes perspectivas o enfoques y con modelos que trazan una ruta organizada para la ejecución secuencial de las acciones, con una lógica espacial y temporal que facilita el cumplimiento de las etapas del proceso. Uno de estos modelos es el de cogestión de cuencas, en el que se promueve, como eje fundamental de las acciones, la participación de las actoras y los actores sociales e institucionales de una unidad hidrográfica, entre los que se encuentran individuos, organizaciones, instituciones, aunque son fundamentales las comunidades y las organizaciones locales.

En la cogestión adaptativa, las experiencias desarrolladas durante los procesos de gestión retroalimentan los planes y acciones de manejo, y son importantes para replantear algunos elementos del manejo que en un primer momento se consideraron apropiados, pero que en la experiencia se evidencian sus limitaciones. En este tipo de gestión, la participación de las actoras y los actores claves es prioritaria, lográndose un verdadero proceso de retroalimentación solo cuando la apropiación de los planes y acciones por parte de ellas y ellos es real.

Otros procesos importantes son los de gestión integrada y los de gestión incorporada. En los primeros, el eje central de la planificación de las acciones incluye a los recursos naturales y a los elementos socioeconómicos, llevando consecuentemente al establecimiento de un plan de acciones integradas. Por otro lado, en la gestión incorporada, la planificación de las acciones está determinada por las variables ambientales en primer lugar, no así por las variables socioeconómicas.

La participación ciudadana en la gestión de cuencas hidrográficas.

La experiencia costarricense

En Costa Rica se han realizado valiosas acciones concordantes con los principios de la gestión integrada del recurso hídrico orientadas a establecer una política hídrica nacional, lo cual demanda la redefinición de las políticas públicas, de la actividad institucional vinculada al recurso hídrico y de las comunidades ubicadas en las distintas cuencas hidrográficas, además de una reforma profunda de la legislación ambiental, específicamente de la aprobación de la propuesta de la Ley del Recurso Hídrico. Entre los principios generales que se incluyen en ese proyecto de ley se destacan el acceso al agua como un derecho humano y la participación ciudadana,

promovida por el Estado, en la toma de decisiones en diferentes aspectos de la gestión. Estos principios plantean un escenario nuevo en el país, al establecer derechos y deberes de las personas en los procesos de gestión del recurso hídrico, no solo aquellos inherentes a su condición de usuarias, sino también los asociados a su participación real y efectiva en la toma de decisiones. También se integran en estos esfuerzos las relaciones y los compromisos internacionales, con los que se busca coincidir con las prioridades mundiales de abastecimiento de agua, conservación y/o mejoramiento de la calidad y conservación de ecosistemas.

A pesar de que algunos esfuerzos nacionales, como la gestión de la Cuenca del Río Grande de Tárcoles, iniciada con la creación, mediante Decreto Ejecutivo, de una Comisión Coordinadora en el año 1993, no han resultado todo lo exitosos que se esperaba, la experiencia y los avances obtenidos y las dificultades encontradas han sido determinantes para los procesos de microzonificación en el territorio nacional. La condición de esa cuenca, caracterizada en numerosos estudios realizados en la cuenca, en las subcuencas y en las microcuencas, se utilizó en la definición de prioridades para la gestión de otras cuencas alteradas en el país. Las dificultades encontradas para lograr una participación ciudadana efectiva en la gestión de la Cuenca del Río Grande de Tárcoles son atribuibles a que se buscó solucionar la problemática de la cuenca como un todo, sin reconocer las necesidades y particularidades hidrológicas, ambientales y socioeconómicas de las subcuencas y microcuencas que la conforman. Es por lo anterior que se recomienda la construcción de procesos de gestión integrada del recurso hídrico partiendo de unidades espaciales pequeñas, como las microcuencas, para luego articular esfuerzos, experiencias y acciones entre ellas.

Otros macroproyectos se han desarrollado en el país en los cuales se ha incorporado la participación ciudadana

en muy diversas modalidades. En el Proyecto de Desarrollo Sostenible de la Cuenca Hidrográfica del Río Savegre, ubicada en la sección sur de la región del Pacífico Central y que posee la mayor cobertura boscosa del país (71%), un alto potencial hídrico, poca densidad poblacional, un alto nivel de pobreza y una elevada susceptibilidad a los riesgos naturales, se ha apoyado la consolidación organizativa de los productores y de organizaciones comunales con enfoque de género, la implementación de fincas integrales, la creación de microbanca comunales para la dinamización de las economías locales en la generación de bienes y servicios y se ha promovido la participación de los productores en redes, con el propósito de mejorar su competitividad.

Una red interinstitucional constituida por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, el Ministerio de Ambiente y Energía, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Instituto Nacional de Biodiversidad y el Instituto Costarricense de Electricidad, elaboró en junio de 2003 un Plan de Ordenamiento Territorial (POT), acompañado de un Plan de Manejo para su puesta en marcha, el cual establece la creación de una autoridad de la cuenca que involucra a todas las actoras y a todos los actores sociales e institucionales y que tiene como fin velar por el cumplimiento del Plan. La representación comunal en esta instancia es elegida mediante asambleas comunales y, además, se incluye la conformación de comités de las subcuencas y uno técnico-político de coordinación interinstitucional.

Otro ejemplo es el Plan de Manejo de la Cuenca del Río Reventazón, formulado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), con los objetivos de mantener la continuidad, la calidad y cantidad del recurso hídrico de la cuenca y, además, mejorar la situación socioeconómica de la población. Mediante la Unidad de Manejo (UM-CRE-ICE) se coordina con instituciones gubernamentales, no gubernamentales y grupos

organizados. Las acciones se focalizan en las secciones alta y media de la cuenca, en tres microcuencas prioritarias y una zona de amortiguamiento a las áreas protegidas de la vertiente sur. Incorpora cuatro programas: producción agrosilvopastoril sostenible, manejo de la cobertura vegetal, infraestructura y educación ambiental.

La experiencia en la Cuenca del Río Virilla es un ejemplo de gestión promovido por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, con el objetivo de contribuir a la recuperación ambiental de la parte alta de la cuenca, con la participación de la población residente en la zona y de las instituciones públicas y privadas que aprovechan sus recursos. Conocido como PLAMA-Virilla, es el único macroproyecto que explicita en su objetivo general la participación ciudadana. En el 2001 recibió el reconocimiento de cuenca demostrativa en el ámbito latinoamericano por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Secretaría Técnica de la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica de Manejo de Cuencas (REDLACH).

La mayor parte de los esfuerzos en gestión de cuencas, subcuencas y microcuencas se realiza interdisciplinaria e interinstitucionalmente, con el liderazgo de las instituciones públicas de educación superior. En particular, en la Universidad Nacional se destacan la gestión territorial integrada del desarrollo microrregional en las Microcuencas de los Ríos Ciruelas, Segundo, Bermúdez, Pará y Tibás, el manejo de la Cuenca del Río Morote y la gestión de las Microcuencas de los Ríos Pirro y Burío-Quebrada Seca.

El proceso de gestión en la Microcuenca del Río Burío-Quebrada Seca

La participación ciudadana

En Costa Rica se destacan avances en la apertura de espacios participativos para la gestión en materia ambiental, no obstante, persisten limitaciones para alcanzar una de las aspiraciones fundamentales del desarrollo humano en armonía con la naturaleza, como es la participación ciudadana en el diseño, ejecución y seguimiento de las políticas y planes de acción. Estas limitaciones están principalmente relacionadas con la desvinculación entre dos niveles de actuación: el nivel macro, que involucra la gestión política e institucional, y el nivel micro, que involucra la gestión local participativa.

Como una estrategia para disminuir la brecha entre estos dos niveles de gestión, el Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico de la Escuela de Química de la Universidad Nacional promueve un proceso de gestión en la Microcuenca del Río Burío-Quebrada Seca, centrado en la comunidad de Mercedes Sur, el cual se fundamenta en que la calidad de vida de las personas de la microcuenca depende de la condición del entorno, especialmente del recurso hídrico, al que se concibe como el elemento articulador e indicador por excelencia.

Este proceso de gestión iniciado hace siete años, aunque con ciertas limitaciones que dificultan su avance, guarda coincidencias con un proceso de cogestión. Se operacionaliza mediante el Programa de Mejoramiento Integral de Mercedes Sur, cuya orientación está a cargo de un comité coordinador constituido por representantes de la Municipalidad de Heredia, del Ministerio de Salud, de la Universidad Nacional, del Ministerio de Seguridad Pública con el Programa de Seguridad Comunitaria, de la Caja Costarricense de Seguro Social, de las escuelas y colegios públicos y privados, de la Empresa de

Servicios Públicos de Heredia y de los grupos organizados, así como por las vecinas y los vecinos de los diferentes barrios de Mercedes Sur. El Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, el Instituto Nacional de Aprendizaje y otras instituciones colaboran en acciones específicas.

Los fundamentos del proceso se definieron de manera participativa e inclusiva con todos los sectores comunales, mediante una serie de actividades: talleres para identificar fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades; sesiones con personas adultas mayores para recuperar su percepción de la comunidad en el pasado y presente y su visión de futuro; recopilación de diagnósticos institucionales y planes distritales; levantamiento en campo de información primaria sobre aspectos ambientales, productivos y sociales. Se establecieron prioridades con base en la caracterización integral y se definieron los lineamientos que regirían el plan de gestión. Sin duda, una limitación de este esfuerzo de gestión ha sido no poder incidir en las decisiones municipales sobre el uso del suelo, ya que es evidente que es el desarrollo rural, urbano y comercial lo que prima en la toma de decisiones sobre la distribución del territorio, no así la sostenibilidad de los ecosistemas y del recurso hídrico.

La planificación, el seguimiento y la evaluación

Al inicio del proceso se generaron espacios de discusión y búsqueda de consenso entre los miembros del comité coordinador sobre conceptos claves, como el de manejo de cuencas, gestión, recursos naturales, conflictos de uso y otros más relacionados con los ecosistemas y sus componentes. Además, se ha trabajado en el diagnóstico de la microcuenca, centrado en la condición del recurso hídrico superficial, los ecosistemas ribereños, las actividades productivas, la evaluación del nivel organizacional e institucional. Este conocimiento y el monitoreo

permanente de algunos elementos, como la calidad del río y de la quebrada, permitieron la identificación de zonas prioritarias en las que se centran las acciones. También primó en la definición de zonas prioritarias, el grado de participación ciudadana.

Desde su constitución, una de las principales tareas del comité fue el mantenimiento de la distinción de Bandera Azul Ecológica, un esfuerzo que ha resultado exitoso y que coincide, en gran medida, con el plan de gestión y permite, además, el acercamiento con la municipalidad e instituciones que de otra manera o en un contexto distinto, no se involucrarían.

Por otra parte, la participación ciudadana resulta también fundamental en la identificación de necesidades de investigación en diferentes ámbitos de la gestión, las cuales son abordadas por los especialistas. Con mucho éxito se ha trabajado con una de las empresas cuyos desechos sólidos y líquidos impactan el sistema de manera integral, desde la cuenca media hasta la baja.

El involucramiento de algunos centros educativos muy comprometidos con su entorno ha resultado fundamental en la educación y la comunicación ambientales, las cuales constituyen un eje transversal del proceso.

El Plan de Gestión se operacionaliza mediante planes anuales. Para ello, en el mes de enero o febrero de cada año se realiza una sesión ampliada con autoridades de las instituciones, empresarios y comunidad en general, en la que se presenta el informe anual, se evalúa el trabajo y se recopilan elementos, indicando prioridades para elaborar el plan anual. Con los insumos de este taller, se prepara una propuesta que es analizada y aprobada en una sesión del comité coordinador.

Las acciones se ejecutan en el marco de las áreas del Programa de Mejoramiento Integral de Mercedes Sur y se articulan con otras áreas mediante la educación y comunicación o bien mediante actividades específicas, cuyo diseño se realiza participativamente.

El comité gestor se reúne mensualmente para conocer el avance del plan anual, realizar los ajustes pertinentes, diseñar actividades y proyectos y dar seguimiento al proceso.

La ejecución

Como ya se indicó, la ejecución se realiza mediante el Programa de Mejoramiento Integral de Mercedes Sur, cuyas áreas prioritarias son: Seguridad Comunitaria Integral, Salud Humana Integral, Gestión del Recurso Hídrico y Educación y Comunicación Ambientales (Figura 1).

Figura 1



Fuente: Elaboración del LAMRHI.

Áreas prioritarias de trabajo en el Programa de Mejoramiento Integral de Mercedes Sur. La educación y la comunicación ambiental son como ejes transversales y el río Burío como el indicador principal del bienestar sistémico

Este programa constituye un inmejorable espacio para que las instituciones participantes, particularmente la Universidad Nacional, se nutran del saber local, diagnostiquen la realidad

comunal y contribuyan a la búsqueda de soluciones a los problemas detectados y a la propuesta de nuevas formas de desarrollo en armonía con el ambiente. Al mismo tiempo, la comunidad se nutre del conocimiento universal y del generado por la Universidad y las otras instituciones, y participa, con fundamentos técnicos y científicos, en la solución de sus problemas y en nuevas opciones de desarrollo. Es, pues, una vinculación de doble vía, un proceso de aprendizaje mutuo y continuo.

El uso de metodologías promotoras de la participación en la gestión de cuencas

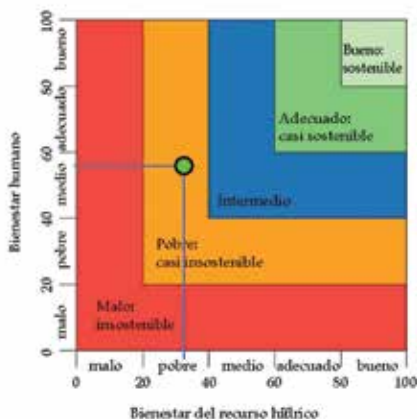
Son diversas las metodologías usadas por el Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico, como ente promotor de la gestión de la Microcuenca del Río Burío-Quebrada Seca, las cuales se diseñan y aplican con el objetivo de promover la gestión participativa en todas sus etapas. Con ellas se han logrado hacer más evidentes para el comité gestor los problemas ambientales que afectan la microcuenca, condición necesaria para la posterior priorización de esos problemas, la identificación de posibles soluciones y la definición de los indicadores apropiados para evaluar la gestión.

Una de las metodologías más exitosas usadas en las primeras etapas del proceso fue una variante del “barómetro de la sostenibilidad”, propuesta por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN) (Prescott-Allen, 1997). Se trata de una herramienta para usar con grupos de personas que no estén familiarizados con los procesos de gestión de cuencas y que permite conocer las distintas percepciones sobre una determinada situación o problema. Con el comité gestor se aplicó exitosamente con dos objetivos; el primero fue la búsqueda de consenso sobre conceptos fundamentales, como ecosistema, cuenca, bienestar humano y del recurso hídrico; y el segundo, identificar las

situaciones más conflictivas para las personas y para el río Burío-Quebrada Seca. La relación entre variables que esta metodología permite establecer (Figura 2) resulta reveladora para las y los participantes, quienes fácilmente pueden vincular el nivel de bienestar en que se encuentran, la condición de su entorno y del recurso hídrico más cercano.

La construcción de un “modelo de la microcuenca” es una estrategia usada con el objetivo de que las personas adquieran una visión tridimensional de su entorno y del uso del suelo en la unidad hidrográfica. Los miembros del comité gestor construyeron el modelo y ubicaron en él la red hídrica principal, los hitos o puntos de referencia, los sectores con actividades más fácilmente identificables (nacientes, fincas, botaderos de basura, fábricas, etc.) y sus casas (Figura 3). Esta herramienta es útil para que las personas perciban la cercanía que existe entre sus viviendas o lugares de trabajo y el río o la quebrada.

Figura 2



Fuente: Benavides et al., 2003 (en p.39).
Gráfica de la metodología “barómetro de la sostenibilidad”
modificada

El “diagrama de la cuenca” consiste en la representación esquemática bidimensional de los cursos de agua en una determinada unidad hidrográfica y las comunidades ubicadas en ella. Esta metodología es complementaria a la anterior, ya que incluye en el análisis espacial, la forma en que las aguas se mueven sobre el territorio. Esto resulta muy importante, porque no para todas las personas es claro que el destino final del agua que escurre por patios, jardines y calles es un curso de agua. Además, permite entender mejor la conectividad existente entre las zonas de una unidad hidrográfica y cómo lo que sucede aguas arriba, aunque no ocurra en el cauce de un río o una quebrada, repercutirá en las zonas más bajas de la cuenca.

El “análisis de FODA” se emplea para identificar y priorizar soluciones a un determinado problema en la unidad hidrográfica, mediante el análisis integrado de esas cuatro (las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas) dimensiones de ese problema. Una modificación de esta metodología la convierte en una herramienta semicuantitativa, con la posibilidad de desarrollar las estrategias para potenciar las fortalezas, aprovechar las oportunidades y minimizar las debilidades, así como valorar las amenazas según la viabilidad para su desarrollo.

La “matriz de planificación del monitoreo y la evaluación” se basa en las enseñanzas que el proceso de gestión deja luego de un período de ejecución. Como tal, es importante que se aplique periódicamente, para hacer las modificaciones que correspondan, según los avances logrados en función del cronograma de trabajo y los problemas u oportunidades presentados.

En los procesos de recuperación y protección de ecosistemas, la participación comunitaria es un aspecto fundamental. Una estrategia que podría contribuir a fortalecer el involucramiento responsable de los habitantes, sustentado en el conocimiento, es el seguimiento de la calidad de las

aguas superficiales, para lo cual el Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico desarrolló un kit con su manual, denominado “Métodos rápidos de análisis”, consistente en pruebas cualitativas o semicuantitativas para determinar algunos parámetros de importancia en calidad de aguas. Los métodos son de aplicación rápida, de bajo costo y en su mayoría requieren de materiales simples, fáciles de conseguir y baratos.

Figura 3



Foto de Viviana Salgado

Modelo de la Microcuenca del Río Burío-Quebrada Seca

En la Microcuenca del Río Burío-Quebrada Seca, dos grupos han sido capacitados para aplicar este kit como herramienta para dar seguimiento a las condiciones de los cuerpos de agua cercanos a sus comunidades (Figura 4). Los resultados del grupo de Mercedes Sur se incluyeron, por cuarto año consecutivo, en la página web de World Water Monitoring Day, que tiene cobertura mundial, lo cual, además, contribuye a la apropiación de la metodología.

Figura 4



Foto de Ana Cristina Benavides
Integrantes del comité coordinador del Programa de Mejoramiento Integral de Mercedes Sur aplicando métodos rápidos para el análisis de las aguas del río Burío. 2011

Condiciones que han contribuido al éxito en el proceso de gestión participativa en Mercedes Sur

Las principales características de esta acción comunal e institucional concertada son:

- Proceso participativo en la planificación, ejecución, seguimiento y evaluación, operacionalizado mediante un programa integral.
- Orientación del proceso por un grupo representativo de diversas instituciones y sectores de la comunidad.
- Existencia de una red de alianzas estratégicas que potencian el impacto del programa y facilitan el acceso a financiamiento y a estudios técnicos.
- Fundamentación de las acciones en el análisis de situaciones y en estudios científicos y técnicos.

- Canalización de esfuerzos y de recursos humanos y materiales institucionales y empresariales hacia el diagnóstico y resolución de problemas de Mercedes Sur.
- Papel relevante de la educación en sus diversas modalidades.
- Incorporación de estudiantes de todos los niveles educativos en un espacio formativo y de aprendizaje mutuo muy enriquecedor.
- Abordaje integral de las diferentes áreas de un programa de gestión.
- Sustento en el voluntariado.
- Integración creciente de todos los sectores de la sociedad, mediante una red de voluntades.

Conclusiones

Aún es mucho lo que se debe hacer, especialmente en otros sectores de la microcuenca, siendo la investigación-acción participativa la más apropiada en el marco de la gestión integrada.

Aunque la apropiación de las acciones por parte de las actoras y los actores sociales e institucionales no se ha logrado en la totalidad de la microcuenca, existe un plan de acción que se ejecuta con mayor éxito en la sección media de la unidad hidrográfica. La presencia y el papel de liderazgo de la Universidad Nacional son relevantes e indispensables; no obstante, se realizan esfuerzos permanentes para el fortalecimiento de las capacidades del comité gestor, con avances importantes en este sentido, pero requieren tiempo y recursos que no siempre están disponibles.

A pesar de los problemas que se presentan en este tipo de procesos en los cuales las ciudadanas y los ciudadanos son las actoras y los actores principales, las instituciones que tienen la posibilidad de promoverlos, como la Universidad Nacional, deben continuar en sus esfuerzos, ya que a mediano

y largo plazos se verán los resultados tan esperados. Los avances que actualmente se consiguen, y los que se alcanzarán en el futuro, dinamizan el proceso de gestión.

Figura 5



Foto de Ana Cristina Benavides
Campaña de divulgación del comité coordinador del Programa de Mejoramiento Integral de Mercedes Sur. 2011

Referencias bibliográficas

- Astorga, Y. (2007). Decimotercer informe del estado de la nación en desarrollo humano sostenible. Informe final. Proyecto Estado de la Nación. Recuperado de http://www.metamorfosis.net/pdf/info_agua/estado_nacion_informe_final.pdf
- Astorga, Y. (2008). Decimocuarto informe del estado de la nación en desarrollo humano sostenible. Informe preliminar. Situación del Recurso Hídrico. Consejo Nacional de Rectores. Defensoría de los Habitantes. Recuperado de http://www.ministeriodesalud.go.cr/sobre_ministerio/do/productos/V%20Cont.%20Abr%2009%20a%20Nov%2009/Informe%20final%20V%20etapa2/Proyectos%20adicionales/Anexo%202%20Productos/Anexo%202.A%20productos/Anexo%202.A.4/Base%20Datos%20ambito%20Agua/Documentos%20Nacionales/Recurso-hidrico-Astorga.pdf
- Benavides, C., Coto, J. y Salgado, V. (2008). Participación comunitaria en el diagnóstico de la calidad del agua en el río Burío, Heredia, Costa Rica. Congreso Internacional sobre Gestión Sostenible del Agua: Reutilización, Tratamiento y Evaluación de la Calidad. Medellín, Colombia.
- Benegas, L., Jiménez, F., Faustino, J. y Gentes, I. (2008). Experiencias y desafíos para la gestión de cuencas hidrográficas en América Latina. Conclusiones del Seminario Internacional Recursos Naturales y Ambiente, 55: 37-49.
- Coto, J.M. (2010). El papel de la universidad pública en la gestión ambiental de una comunidad urbana. El caso de Mercedes Sur, Heredia, Costa Rica. Congreso Internacional de Educación Superior. Heredia, Costa Rica.

- Coto, J., Benavides, A., y Salgado, V. (2008). Del activismo ambientalista a procesos de gestión ambiental. El caso de la gestión ambiental comunitaria en Mercedes Sur, Costa Rica. Congreso Latinoamericano de Extensión. Heredia, Costa Rica.
- Coto, J., Benavides, A., Salgado, V. y Herrera, J. (2010). El río Burío, elemento articulador de la gestión ambiental comunitaria en Mercedes Sur, Heredia, Costa Rica. X Congreso de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, X COREHISA. San José, Costa Rica.
- Instituto Tecnológico del Medio Ambiente. (2011). Módulo V. Manejo integrado de cuencas hidrográficas I: Caracterización/Diagnóstico y Línea base. Huancayo, Perú.
- Instituto Tecnológico del Medio Ambiente. (2011). Módulo VII. Ordenamiento y planificación territorial en cuencas hidrográficas. Huancayo, Perú.
- Instituto Tecnológico del Medio Ambiente. (2011). Módulo VIII. Metodologías de investigación en cuencas hidrográficas. Huancayo, Perú.
- Instituto Tecnológico del Medio Ambiente. (2011). Módulo XII. Experiencias exitosas en el manejo de cuencas hidrográficas en Latinoamérica. Huancayo, Perú.
- Mena, G. (2003). La Experiencia en la Cuenca del Río Virilla. Gestión de Cuencas en la CNFL. Rescatemos el Virilla. Gestión de Cuencas en el Grupo ICE. *Revista de Análisis Ambiental de la CNFL*. Diciembre, 2003, N. 23.
- Millán, J. y Cruz, C. (2007). Agua, Cultura y Ambiente: El caso de la Cuenca Hidrográfica Morote, Guanacaste. Recuperado de <http://web.uned.ac.cr/biocenosisis/images/stories/articulosVol20/18culturabio20.pdf>
- Prescott-Allen, R. (1997). *Barómetro de la sostenibilidad. Medición y comunicación del bienestar y el desarrollo sostenible*. UICN. Costa Rica: 30 p.

- Rivera, N. (s.f). *La situación del manejo de cuencas en Costa Rica*. Costa Rica: s.e.
- Sánchez, V. (2003). *Gestión ambiental participativa de microcuencas. Fundamentos y aplicación. El caso de la Quebrada Salitral, Costa Rica*. Heredia: EUNA., p. 54.
- The World Bank, El Colegio de México, World Water Council. (2006). IV Foro Mundial del Agua. Agua para el crecimiento y desarrollo. Acciones locales para un reto global. México.
- UNEP. (2006). Consejo Nacional del Agua, World Water Council. IV Foro Mundial del Agua. Américas. Documento de la Región. Acciones locales para un reto global. México.
- UNESCO. (2010). El agua en un mundo en constante cambio. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. Recuperado de http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/index_es.shtml. 20 noviembre 2011.

CAPÍTULO 2

Los retos de la gobernabilidad de las cuencas transfronterizas en América Central y el rol de la Convención de Nueva York (1997)

Dr. Alexander López R.

I. Centroamérica como región de cuencas transfronterizas

Centroamérica puede ser definida como una región de cuencas transfronterizas donde en un espacio de poco más de 500 mil km², existen 23 cuencas transfronterizas. La presencia de este alto número de cuencas transfronterizas en parte se debe a la fragmentación política, debido a la existencia de 7 Estados que comparten el territorio de esta pequeña región. La fragmentación política encuentra su expresión en las fronteras nacionales. En América Central solamente las fronteras de México-Guatemala-Belice y las de Honduras-El Salvador-Guatemala forman puntos trifinios. Las restantes fronteras terrestres son compartidas por dos Estados.

La situación descrita, es decir, la existencia de una fuerte interacción ambiental en Centroamérica que convive con una fragmentación política genera una importante dicotomía para la región y esta es: ¿Cómo administrar un

sistema ecológico ambiental altamente integrado dentro de las complejidades de una región fragmentada políticamente? Lo anterior tiene una respuesta clara y es que Centroamérica necesita generar nuevas instituciones (entendiendo instituciones como aquel conjunto de acciones, normas y procedimientos que orientan y regulan la conducta de los actores) que logren gestionar esos recursos naturales de una manera distinta a lo que tradicionalmente se ha hecho.

Cuadro 1
América Central: cuencas internacionales
por país y área

| Cuencas | Países que las comparten | Área en km ² |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Usumacinta- Grijalva | Guatemala – México – Belice | 106 000 |
| San Juan | Nicaragua – Costa Rica | 38 569, 00 |
| Coco o Segovia | Nicaragua – Honduras | 24 866,6 |
| Lempa | El Salvador – Honduras – Guatemala | 18 234,7 |
| Motagua | Guatemala – Honduras | 15 963,8 |
| Belice | Belice – Guatemala | 12 153,9 |
| Choluteca | Honduras – Nicaragua | 8 132,6 |
| Hondo ¹ | Guatemala – Belice – México | 7 189 |
| Chamelecón | Honduras – Guatemala | 5 154,9 |
| Changuinola | Panamá – Costa Rica | 3 387,8 |
| Sixaola | Costa Rica – Panamá | 2 839,6 |
| Goascorán | Honduras – El Salvador | 2 745,3 |
| Negro o Guasaule | Nicaragua – Honduras | 2 371,2 |
| Paz | Guatemala – El Salvador | 2 647 |
| Sarstún | Guatemala – Belice | 2 009,5 |

¹ No incluye la extensión en México.

| | | |
|-----------------------|------------------------|-----------|
| Coatán | México – Guatemala | 1 283,9 |
| Colorado – Corredores | Costa Rica – Panamá | 1 281,8 |
| Moho | Belice – Guatemala | 911,9 |
| Temash | Belice – Guatemala | 476,4 |
| Jurado | Panamá – Colombia | 234,3 |
| El Naranjo | Nicaragua – Costa Rica | 50,7 |
| Conventillos | Nicaragua – Costa Rica | 17,5 |
| Total América Central | 23 cuencas | 219 451,9 |

Fuente: FUNPADEM (2000). Elaborado a partir de los datos de UIFC, 2000; Cabrera y Cuc, 2002; Consejo de la Cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta, s.f.i; Procuencia. San Juan, 2004; Plan Maestro y para el Desarrollo Integrado y Sostenible de la Cuenca Binacional del río Paz, s.f.

A través del tiempo, las cuencas internacionales han sido impactadas por las transformaciones sociales, económicas y naturales que han ocurrido en la frontera. La mayoría de estos cambios se produjeron por la expansión de la frontera agrícola como parte de los procesos de incorporación de los territorios al control del Estado, la intensificación de actividades agropecuarias y el crecimiento urbano.

Como se menciona en un estudio elaborado por López y Hernández (en p.68) (2005)², actualmente, muchos de estos espacios se encuentran muy deteriorados como consecuencia de estos procesos. La mayor parte de las cuencas internacionales en América Central poseen elevados índices de contaminación, erosión y sedimentación. Esto es preocupante debido

2. Estos datos se desprenden del estudio para FUNDAUNGO, elaborado en el 2005 y, titulado "Fronteras y Ambiente en América Central: Los Desafíos para la Seguridad Regional", Elaborado por Aurora Hernández y Alexander López.

a que en muchos casos este deterioro parece que no tiende a reducirse, mientras la cantidad de población y, consecuentemente, la demanda hídrica se encuentran en aumento en la región.

Otro desafío para las cuencas transfronterizas es que la riqueza hídrica que se concentra en las cuencas transfronterizas se traslapa en el espacio con los espacios protegidos. La mayor cantidad de los territorios protegidos en las fronteras se encuentran en las colindancias Belice-Guatemala, Guatemala-México, Costa Rica-Panamá y Costa Rica-Nicaragua. Estas concentran aproximadamente el 48% de las zonas bajo protección del istmo.

Los bosques que se encuentran en las cuencas internacionales son colindantes con los límites internacionales y representan un 38,9% de la superficie de América Central y el 72% de los bosques de la región (Jiménez, 2002). Los países con mayores extensiones de bosques fronterizos son Guatemala y Honduras, mientras el que posee la menor extensión es El Salvador.

Igualmente, como se apuntara en el estudio ya citado realizado para FUNDAUNGO (2005), los anteriores datos hacen evidentes que las fronteras son áreas que guardan los mayores tesoros naturales del istmo, las cuales son amenazadas por procesos de desarrollo como la minería, la expansión de la frontera agrícola y la extracción de recursos (Pasos et al., 1998). Esto requiere que se fortalezcan los procesos de cooperación transfronteriza en materia ambiental para afianzar los sistemas de protección existentes y crear medidas de conservación y uso sostenible de los espacios que aún no gozan de ninguna categoría de manejo y protección.

Regresando al tema de cuencas transfronterizas en Centroamérica y realizando una evaluación general de la situación, tenemos en primer lugar, que casi todas las cuencas están divididas entre dos países; solo las del Usumacinta, el

Lempa y el Hondo, que pertenecen a tres países, escapan a esta regla. Este hecho es relevante, porque puede pensarse que la cooperación es más factible cuanto menos sea el número de Estados involucrados.

Tal como destacaran los diferentes estudios del proyecto "Conflicto y Cooperación en Cuencas Internacionales en Centroamérica"³, en segundo lugar, hay cuencas cuya área está dividida en condiciones de casi total igualdad. Son los casos de las cuencas del río Goascorán (48,1% de El Salvador y 51,9% de Honduras) y del río Paz (47,4% de El Salvador y 52,6% de Guatemala).

En tercer lugar, hay otras cuencas en las que sucede lo contrario, es decir, un país la posee casi toda. En esta última situación se encuentran la cuenca del río Chamelecón (98% de Honduras y 2% de Guatemala) y la del río Choluteca (96,7 de Honduras y 3,3% de Nicaragua). En estos casos, aunque internacionales, son casi un asunto nacional, en virtud de la abrumadora presencia de un país en la cuenca. Lo anterior podría pensarse no facilita un manejo transfronterizo, dado que en estas circunstancias el manejo de la cuenca es unilateral, con muy poca interdependencia.

Igualmente, en términos de gobernabilidad y del diseño de mecanismos institucionales para la gestión hídrica transfronteriza, no solo es preciso conocer las dimensiones de una cuenca y los países que ejercen soberanía sobre ella. No solo se trata de cuánto se tiene, sino de cómo se divide la cuenca. En los casos en que la parte alta de la cuenca pertenece a un país, y la sección baja a otro, el país de aguas abajo tendrá

3. El citado proyecto fue desarrollado por la Universidad Nacional, la Universidad de Costa Rica, la Fundación KUKULKAN y FUNPADEM durante los años 2000-2002. Mucha de esta información se encuentra publicada en el libro *conflicto y cooperación en cuencas internacionales centroamericanas: repensando la soberanía nacional*. Editado por Alexander López.

mayor disposición al manejo conjunto, por ser el que, en general, tiene más que perder del deterioro de la cuenca (López, Wolf y Newton, (en p.68) 2007).

Hay países en la región que manifiestan una baja interdependencia respecto a sus vecinos, si bien en todos los casos se comparten aguas. El caso típico es Panamá. En su frontera con Colombia, comparte la pequeña cuenca del río Jurado; en la frontera con Costa Rica, donde hay dos cuencas mayores, se da un fenómeno singular: aunque divididas, cada cuenca, la del Changuinola y la del Sixaola, pertenecen ampliamente a alguno de los dos Estados. Lo mismo ocurre en la frontera de Guatemala y Honduras, donde las cuencas del Motagua y el Chamelecón tienen poco de binacionales. En otros casos, en cambio, la interdependencia es extrema. Así se observa entre Guatemala y Belice, Honduras y El Salvador o Guatemala y México.

Tal como lo indica el estudio de Hernández, López y Jiménez (2009), el país que cuenta con más cuencas internacionales es Guatemala, un total de 13 cuencas (tres con México, cinco con Belice, dos con Honduras, una con El Salvador, una con Honduras y El Salvador y otra con México y Belice). En consecuencia es también uno de los países de Centroamérica que tiene el mayor porcentaje del territorio nacional (64,6%) en cuencas internacionales (Figura 1).

Figura 1



Fuente: elaboración propia.

Centroamérica: Porcentaje por país en cuencas internacionales

Otros países centroamericanos que cuentan con un alto porcentaje de su territorio en estas circunstancias son Belice (65,1%) y El Salvador (61,9%).

Aunque la importancia relativa del territorio en cuencas internacionales es muy parecida a la de Guatemala, la situación de El Salvador es bastante menos favorable, en tanto que se encuentra aguas abajo de la cuenca del río Lempa, que representa el 56,1% de su territorio y es su más importante fuente de agua y energía. Además, se debe considerar que esta cuenca la comparte con dos países más, Guatemala y Honduras, que poseen el 13,7% y el 30,2% de la superficie de dicha cuenca, respectivamente. El caso de El Salvador representa el ejemplo más importante de toda Centroamérica de la necesidad de disponer de un mecanismo institucional para evitar la producción de externalidades negativas que impacten en este caso a El Salvador, debido a su alto grado de dependencia de la cuenca del Lempa y debido a su situación geográfica (López, 2004).

De los diferentes estudios realizados en la región igualmente se desprende la información que se apunta en los

siguientes párrafos⁴. En el caso de Belice, la situación es parecida en términos geográficos a El Salvador, ya que en todos los casos se encuentra aguas abajo. Guatemala, es todo lo contrario, se encuentra aguas arriba en todos los casos, salvo una pequeñísima parte de la cuenca del río Usumacinta que pertenece a Belice. Además, posee alrededor del 42% en cinco de las cuencas que comparte.

Costa Rica y Nicaragua también tienen un porcentaje muy parecido de su territorio en cuencas internacionales, 34,7% y 34,3%, respectivamente. Nicaragua tiene un total de cinco cuencas internacionales, tres con Honduras y dos con Costa Rica, y con excepción de la cuenca del río Choluteca, en todos los casos posee la mayor parte de la superficie.

Nicaragua es el segundo país con más kilómetros de superficie en cuencas internacionales, después de Guatemala, debido a que dos de sus cuencas están entre las cuatro más grandes del istmo, a saber, la cuenca del río Coco o Segovia y la cuenca del río San Juan.

Se puede afirmar que Nicaragua se encuentra en una situación menos ventajosa que Guatemala, pues la estabilidad de sus ríos fronterizos es muy dependiente de lo que ocurra en la otra parte de la cuenca que no domina. Sí es mucho más favorable que la de El Salvador, porque el territorio internacional no es tan significativo y desde el punto de vista de la economía nacional, los ríos en cuestión no son tan estratégicos (López, Wolf y Newton, 2007).

4. Todos los datos apuntados se pueden encontrar en los siguientes estudios:

Hernández, A.; López, A. & Jiménez, A. 2009. *Gobernabilidad e instituciones en las cuencas transfronterizas de América Central y México*.

López, A.; Wolf, A. & Newton, J. 2007. *Hydropolitical Vulnerability and Resilience Along International Waters: Latin America and the Caribbean*.

López, A. 2002. *Conflicto y cooperación en cuencas internacionales centroamericanas: repensando la soberanía nacional*.

UIFC-FUNPADEM. 2000. *Cuencas internacionales: conflicto y cooperación en Centroamérica*.

Costa Rica, por su parte, posee cuatro cuencas internacionales además de la del río San Juan; dos con Nicaragua en la vertiente del Pacífico y dos con Panamá. Entre las que comparte con Panamá se encuentran la del río Sixaola, que pertenece en un 81,8% a Costa Rica y la del Changuinola que pertenece a Panamá en un 92,4%.

En Honduras, la superficie de las cuencas internacionales representa casi el 20% del territorio. Este país comparte tres cuencas con Nicaragua, dos con Guatemala y una con El Salvador y Guatemala. Su situación es similar a la de Nicaragua, porque la mayor parte de la superficie de dichas cuencas se divide por vertiente y en algunos casos posee la parte superior de dichas cuencas.

Como se aprecia, tanto la importancia relativa que tiene la superficie de las cuencas para cada país, como también la situación en que dichas cuencas se dividen (aguas arriba y aguas abajo, por vertientes, o ambas) ofrecen muchas posibilidades para la cooperación transfronteriza en la región y, por lo tanto, para el diseño de mecanismos institucionales que puedan fortalecer el proceso de integración regional.

II. La necesidad de una buena gobernabilidad e institucionalidad

La gobernabilidad del agua “hace referencia al rango de los sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que se establecen para desarrollar y manejar los recursos hídricos y el suministro de agua en los diferentes niveles de la sociedad” (Rogers y Hall, 2003). En este sentido, América Central ha experimentado en los últimos años un proceso de cambio institucional y de conciencia en la población sobre la necesidad de contar con instrumentos legales y políticas que permitan un manejo eficiente del agua.

En América Central, desde hace más de una década, con la conformación de entidades regionales, como la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) en 1991, se ha avanzado hacia arreglos y acuerdos que han fortalecido las acciones conjuntas y nacionales en torno al desarrollo sostenible, en el cual obviamente está incluida la gestión del recurso hídrico y, por lo tanto, constituyen esfuerzos que fortalecen la base jurídica regional para la aplicación de los principios de la gestión integrada de los recursos hídricos.

Así, el convenio constitutivo de la CCAD en el artículo 2 y literal g establece que uno de sus objetivos es: "Determinar las áreas de acción, entre otras: educación y capacitación ambientales, protección de cuencas hidrográficas y ecosistemas compartidos y el manejo de bosques tropicales, control de la contaminación de centros urbanos, importación y manejo de sustancias y residuos tóxicos y peligrosos, y otros aspectos del deterioro ambiental que afectan la salud y la calidad de vida de la población" (Convenio Constitutivo de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, citado en Sánchez, 2003).

La CCAD se unió a los esfuerzos del Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). Estas entidades elaboraron una propuesta de Plan de Acción Centroamericano para el Desarrollo Integrado de Recursos Hídricos (PACADIRH) en 1997 (SG-SICA, 2000). El objetivo de esta estrategia regional no es sustituir los procesos nacionales de gestión hídrica, sino complementarlos y coordinarlos. El objetivo general de este plan es: "Potenciar y captar el valor agregado que ofrecen las iniciativas regionales concertadas en la solución de los problemas prioritarios de recursos hídricos, mediante un enfoque integrado a favor de la conservación y el manejo sostenible de este recurso vital, articulando, de manera complementaria, las acciones que se ejecutan en los niveles regional, nacional y local, considerando los aspectos sociales, económicos y ambientales" (SG-SICA, 2000).

En términos de la gobernabilidad de los ríos internacionales, los actores más relevantes son los que están vinculados directamente a la acción estatal. Esto por cuanto, son los que tienen la posibilidad de intervenir territorial y jurídicamente para limitar o posibilitar las dinámicas de intervención adoptadas por los otros actores que gestionan o utilizan el recurso hídrico en las cuencas internacionales.

Tal y como se desprende del estudio realizado por Hernández y Ríos (en p.68) (2006), los actores estatales poseen directrices que provienen en su mayoría de decretos y leyes del Estado al que pertenecen y sus competencias los convierten en los entes reguladores, controladores o usuarios del recurso.

Además, en la mayoría de los países de la región, estas entidades tienen como parte de sus propósitos de trabajo la formulación de acciones, programas y proyectos en los cuales se propicie la participación de las autoridades locales y el resto de la sociedad civil.

Por otra parte, considerando los Estados como unidades políticas independientes, cada uno de los siete países de América Central, además de participar de los esfuerzos regionales, posee una larga historia de esfuerzos para la promulgación de leyes que estuvieron vinculadas directa o indirectamente con la protección de los recursos naturales y especialmente del recurso hídrico. Por ejemplo, Costa Rica pocos años después de iniciar su vida como Estado independiente promulgó la primera normativa referida a la extracción forestal y el agua (Vargas, 2000).

III. Los nuevos marcos institucionales para la gestión hídrica en Centroamérica

Siguiendo el estudio de Hernández, López y Jiménez (2009) cuando se hace referencia a instituciones, no se debe pensar estrictamente en aquellas que son más estructuradas y formalizadas, como las organizaciones y entidades estatales, sino también incluye un espectro amplio que va desde esquemas informales, por ejemplo, los comités locales, hasta los regímenes internacionales establecidos formalmente por los Estados. Son entidades complejas formales o informales, materializadas por normas y procedimientos que regulan la conducta de los actores. Son una respuesta a un problema o situación en la que está en juego la satisfacción de las necesidades y el logro de los intereses comunes.

Los autores Hernández, López y Jiménez plantean la pregunta, ¿por qué son importantes las instituciones? Fundamentalmente, debido a que facilitan la coordinación y la cooperación entre actores individuales y colectivos; pues contribuyen a reducir los costos de transacción y transferencia, al mismo tiempo que minimizan la incertidumbre y facilitan la comunicación entre agentes. Se considera que son la respuesta a los dilemas que genera la acción colectiva.

Las instituciones producen la reducción de los costos de transacción y la incertidumbre, porque establecen normas, procedimientos y mecanismos de coordinación que contribuyen a que los tomadores de decisiones no tengan que realizar un análisis total de la situación cada vez que deban seleccionar una alternativa. En el caso de los costos de transacción, cada actor sabe que los otros actúan con los mismos principios, normas, reglas, procedimientos y mecanismos, porque corresponden a aquellos definidos por las instituciones.

En la actualidad, existe una discusión regional sobre la necesidad de modernizar las legislaciones nacionales, ya que se tiene una normativa poco funcional. Así, por ejemplo, solo Nicaragua y Honduras cuentan con instrumentos jurídicos modernos. En términos institucionales ambos proveen de un cuerpo institucional para la gobernabilidad nacional, así por ejemplo, en el caso de Nicaragua y su nueva Ley General de Aguas Nacionales, N° 620, este fue el primer país en Centroamérica en aprobar una ley nacional de aguas, luego de 31 años en que no se aprobaba en la región una legislatura en este ámbito. De acuerdo con la declaración oficial surge con el objeto de establecer “el marco jurídico institucional para la administración, conservación, desarrollo, uso, aprovechamiento sostenible, equitativo y de preservación en cantidad y calidad de todos los recursos hídricos existentes en el país, sean estos superficiales, subterráneos, residuales y de cualquier otra naturaleza, garantizando a su vez la protección de los demás recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente⁵”. Igualmente, la ley establece como usos del agua: el consumo humano, agua potable, agropecuario, conservación ecológica, generación de energía, cada uno con sus respectivas regulaciones.

En cuanto al marco institucional aparecen varias instancias compuestas por el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, la Autoridad Nacional del Agua, el Registro Público Nacional de Derechos de Agua, los Organismos Regionales de Cuenca y Comités de Cuencas. Siendo el Consejo Nacional de Recursos Hídricos la instancia de más alto nivel y foro de concertación y participación, con facultades asesoras y de coordinación, así como de aprobación de las políticas generales, de planificación y seguimiento a la gestión que realiza la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el sector hídrico.

5 Ley General de Aguas Nacionales, Ley no. 620. Proceso, retos y lecciones aprendidas. Tomado de Global Water Partnership. Central America. Disponible en <http://www.gwpcentroamerica.org/>

En cuanto a la Autoridad Nacional del Agua, “será el órgano descentralizado del Poder Ejecutivo en materia de agua, con personería jurídica propia, autonomía administrativa y financiera. Esta tendrá facultades técnicas-normativas, técnicas-operativas y de control y seguimiento, para ejercer la gestión, manejo y administración en el ámbito nacional de los recursos hídricos, de conformidad a la presente Ley y su Reglamento⁶.”

Un aspecto interesante es la inclusión de los Organismos y Consejos de Cuenca. En lo referente a los Organismos de Cuenca, “funcionarán como instancias gubernamentales, con funciones técnicas, operativas, administrativas y jurídicas especializadas propias, coordinadas y armonizadas con la ANA, para la gestión, control y vigilancia del uso o aprovechamiento de las aguas en el ámbito geográfico de su Cuenca respectiva⁷”. Por su parte, los Comités de Cuencas son para impulsar la participación ciudadana en la gestión del recurso hídrico y también se crea el Registro Público Nacional de los Derechos del Agua, “como instancia distinta de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), pero con dependencia económica y administrativa de la misma, en el que deberán inscribirse los títulos de concesión, autorización, licencias, asignación para el acceso del uso de las aguas y los permisos para el vertido de aguas residuales. También se inscribirán las prórrogas de los mismos, su suspensión, terminación y demás actos y contratos relativos a la transmisión total o parcial de su titularidad, o cualquier modificación o rectificación de los títulos o permisos registrados. Esto se sujetará a las disposiciones que establezca el Reglamento de esta Ley⁸”.

En el caso de Honduras, la nueva Ley General de Aguas (2009) constituye un marco jurídico innovador de planificación

6 *Ídem.*

7 *Ídem.*

8 *Ídem.*

y ordenamiento de la gestión y aprovechamiento integrado del recurso hídrico. La ley establece la creación de varias entidades de rectoría política, coordinación, ejecución, regionalización y atribuciones técnicas. El Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) es formado al más alto nivel gubernamental y cuenta también con representantes de los sectores privado y educativo. Esta ley concede un rol importante a los organismos de cuenca, especialmente a los consejos de cuenca (artículos 19-24). Es interesante observar que según el párrafo final del artículo 22, “en los consejos de cuenca de ríos fronterizos y transfronterizos de gestión compartida, la representación del Gobierno Nacional deberá incluir un representante de la Secretaría de Estado en el Despacho de Relaciones Exteriores”. Esta disposición constituye un reconocimiento de la gestión compartida de las cuencas transfronterizas y un paso efectivo para la sostenibilidad de los sistemas acuáticos internacionales⁹.

IV. Un instrumento de gobernabilidad global: la Convención de Nueva York

El más importante avance en materia de codificación del derecho internacional hídrico lo representa la convención de Naciones Unidas sobre los Usos de los Cursos de Aguas Internacionales con Fines Distintos a la Navegación, también conocida como Convención de Nueva York de 1997. Las Naciones Unidas deciden que, a comienzos del quincuagésimo primer período de sesiones de la Asamblea General, la Sexta Comisión convocará a un grupo de trabajo plenario, abierto a la participación de los Estados miembros de las

9 Para una mayor discusión de la Ley de Aguas Nacionales de Honduras ver el texto titulado: *Estudio de línea base de los cursos de aguas internacionales en la República de Honduras*, publicado por el Fondo Mundial de Vida Silvestre con la autoría de Alexander López.

Naciones Unidas o miembros de los organismos especializados, durante tres semanas, entre el 7 y el 25 de octubre de 1996, para elaborar una convención marco sobre el derecho de los usos de los cursos de aguas internacionales para fines distintos a la navegación basada en el proyecto de artículos aprobado por la Comisión de Derecho Internacional, a la luz de los comentarios y observaciones escritos de los Estados y de las opiniones expresadas en los debates durante el cuadragésimo noveno período de sesiones (Hernández y Ríos, 2006).

Tal y como se desprende del estudio realizado por Hernández y Ríos (2006) sobre la base de los trabajos de la Comisión de Derecho Internacional, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó el 21 de mayo de 1997 el texto de la Convención sobre el Derecho de Uso de Cursos de Aguas Internacionales No Navegables, recomendando a los países miembros a adherirse. Favorablemente votaron 103 países; en contra 3 (Burundi, China y Turquía); 27 se abstuvieron y 51 no participaron (Naciones Unidas, 1997). La Convención se funda indiscutiblemente en la teoría de la soberanía limitada o restringida. Aunque el instrumento no pudo ser adoptado por consenso¹⁰, al encontrar la oposición de ciertos Estados

10 El Grupo de Trabajo de la Asamblea General se reunió durante dos meses en octubre de 1996 y durante otros dos en la primavera de 1997. En este foro apareció pronto la oposición entre dos grupos de intereses: el de los Estados de aguas arriba y el de los Estados de aguas abajo. Entre los primeros había delegaciones radicales y delegaciones moderadas, pero una posición común en todas ellas era la de subordinar la obligación de no causar daños significativos (Art. 7) al principio de la utilización equitativa y razonable (Arts. 5 y 6). Y entiendo personalmente que esta idea era justa, puesto que, si la obligación de no causar daños significativos prevaleciese sobre el principio de utilización equitativa y razonable, quedarían prohibidos todos los daños significativos, incluso los que resultasen de una utilización equitativa y razonable. En las postrimerías del período de

de aguas arriba, ningún Estado impugnó en el proceso de su elaboración el principio de la utilización equitativa y razonable del curso de agua internacional (Art. 5), principio que excluye la doctrina de la soberanía absoluta y que forma parte hoy, sin duda, del derecho internacional general.

Este acuerdo establece normas y procedimientos jurídicos mínimos. El instrumento que nos ocupa es una convención-marco, destinada a orientar a los Estados en la negociación de acuerdos particulares, bilaterales o multilaterales. Pese a ello, algunas de sus disposiciones están redactadas en términos sumamente precisos y detallados, y la Convención prevé incluso un mecanismo de solución de controversias. El mecanismo es desde luego modesto, porque como medio obligatorio no prevé más que la conciliación (Barandar, 2001).

La Convención provee una serie de principios, entre los más relevantes están el artículo 5 sobre la *utilización equitativa y razonable del curso de agua internacional*:

"1. Los Estados del curso de agua utilizarán en sus territorios respectivos un curso de agua internacional de manera equitativa y razonable. En particular, los Estados del curso de agua utilizarán y aprovecharán un curso de agua internacional con el propósito de lograr la utilización óptima y sostenible y el disfrute máximo compatible con la protección adecuada del curso del agua, teniendo en cuenta los intereses de los Estados del curso de agua de que se trate".

sesiones del Grupo de Trabajo de la primavera de 1997, su presidente propuso una fórmula, supuestamente de compromiso, que se incorporó finalmente al párrafo 2 del artículo 7 de la Convención. Según esta, cuando un Estado ribereño causa a otro un daño significativo, ambos Estados deberán adoptar las medidas adecuadas tomando en cuenta debidamente las disposiciones de los artículos 5 y 6 (principio de utilización equitativa y razonable), para atenuar o eliminar el daño y, en su caso, discutir la cuestión de la indemnización (Pastor, 2000).

Los Estados del curso de agua participarán en el uso, aprovechamiento y protección de un curso de agua internacional de manera *equitativa y razonable*. Esa participación incluye tanto el derecho de utilizar el curso de agua como la obligación de cooperar en su protección y aprovechamiento.

Este principio exige que toda vez que un país utilice el agua de un recurso hídrico compartido no prive a otros países ribereños de su derecho a un uso equitativo y razonable. Se hace referencia a esta norma como el principio del “uso no dañino de un recurso”, el cual está reconocido universalmente (los Principios 21 y 22 de la Declaración de Estocolmo de 1972 sobre el Medio Ambiente).

Ahora bien, sobre este principio, encontraremos siempre la controversia entre los Estados aguas arriba y los Estados aguas abajo, sobre qué se entiende por equitativo y razonable. La Convención igualmente provee algunos indicadores para definir en cada contexto qué se entiende por equitativo y razonable entre ellos y de acuerdo con el artículo 6:

- a) los factores geográficos, hidrográficos, hidrológicos, climáticos, ecológicos y otros factores naturales;
- b) las necesidades económicas y sociales de los Estados del curso de agua interesados;
- c) la población dependiente del curso de agua en cada Estado del curso;
- d) los efectos que el uso o los usos del curso de agua en uno de los Estados del curso de agua produzcan en otros Estados del curso de agua;
- e) los usos existentes y potenciales del curso de agua;
- f) la conservación, la protección, el aprovechamiento y la economía en la utilización de los recursos hídricos del curso de agua y el costo de las medidas adoptadas a tal efecto;
- g) la existencia de alternativas, de valor correspondiente, respecto de un uso particular existente o previsto.

Junto a este *derecho al aprovechamiento óptimo y razonable*, la Convención enumera una serie de obligaciones de los Estados del curso de agua:

1. obligación de no causar daños apreciables (Art. 7);
2. obligación general de cooperación (Art. 8);
3. intercambio regular de datos e información (Art. 9); y
4. inexistencia de prioridad entre los diversos usos de un curso de agua (Art. 10).

La Parte III de la Convención (Art. 12 y siguientes) regula el procedimiento a seguir en el caso de que un Estado ribereño del curso de agua proyecte medidas que sean susceptibles de producir efectos negativos y significativos en otros Estados ribereños. Hay que señalar, particularmente, que el Estado en cuestión debe notificar en tiempo oportuno a los otros Estados del curso de agua esos proyectos, y que durante un período determinado, que en principio es de seis meses, no los puede llevar a cabo ni permitir su realización sin el consentimiento de los otros Estados interesados. Nos encontramos, pues, ante un derecho de veto temporal, que pone de relieve claramente hasta qué punto está limitada la soberanía territorial de los Estados ribereños del curso de agua internacional.

V. Recomendaciones de política en el ámbito regional en el tema de cuencas transfronterizas

Para finalizar este breve recorrido de sistematización de algunos de los esfuerzos más importantes que se han hecho en la región en el tema de la gobernabilidad de las cuencas transfronterizas, se deben mencionar algunos aportes en términos de recomendaciones. Al respecto se rescatan cinco recomendaciones hechas por López y Cabrera (2008) al programa de PAIRCA-CSUCA de Fortalecimiento de la Integración Centroamericana.

1. Fomento de la coordinación interinstitucional en el marco del SICA

Al tratarse de cuencas compartidas entre dos o más países, la acción complementaria se debe dar en el ámbito del Sistema de Integración Centroamericano (SICA), con la coordinación y armonización de políticas entre las instancias y foros especializados del SICA (CCAD, CRRH, CEPREDENAC, SCAC, COMISCA, CCHAC y otras), a efecto de fortalecer sistemáticamente el apoyo y la cooperación entre los países de la región. Además, en el ámbito regional, los marcos legales para la gestión integrada de los recursos hídricos y la cooperación entre países se enmarcan en los acuerdos de CCAD, en planes estratégicos como la ECAGIRH, en declaraciones políticas y de forma más específica se espera en un futuro cercano con el convenio centroamericano del agua, el cual define mecanismos de cooperación para el manejo conjunto de cuencas compartidas.

2. Aprobación de la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Aguas Internacionales con Fines Distintos de la Navegación

La Asamblea de Naciones Unidas aprobó en 1997 el “convenio marco sobre el derecho de los usos de los cursos de aguas internacionales con fines distintos de la navegación”, con el propósito de establecer las normas que definan las medidas de conservación y gestión relacionadas con los usos de esos cursos de agua. Allí se establece que los Estados del curso de agua utilizarán en sus territorios respectivos dicho curso de agua internacional de manera equitativa y razonable, con el propósito de una utilización óptima y un disfrute máximo compatible con la protección adecuada del curso de agua internacional, para lo cual se consagra la obligación de cooperar en su protección y aprovechamiento.

Los países de América Central deben estar conscientes de la necesidad y de la importancia política, social, ambiental y económica de las implicaciones del marco de la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Aguas Internacionales con Fines Distintos de la Navegación y del impacto que su firma y ratificación puede tener sobre los marcos de acción nacional y regional en materia hídrica. Es por ello que se debe crear un proceso que, en primer lugar, genere conciencia entre los legisladores centroamericanos, particularmente entre aquellos vinculados a las comisiones del ambiente sobre la necesidad de ratificar este instrumento sabedores de que Centroamérica es una región de cursos de aguas internacionales, como bien lo demuestran las 23 cuencas internacionales que la región posee. Igualmente, un proceso paralelo debe ser desarrollado en las cancillerías.

3. Acuerdos bi o trinacionales en cuencas compartidas

Esta gestión debe desarrollarse en forma coordinada entre las autoridades del ambiente como entes rectores en la materia con las cancillerías de los países involucrados, contando con el apoyo y seguimiento de la Comisión de Secretarías del SICA, para sistematizar la gestión e implementación de estos acuerdos y el apoyo de la cooperación internacional (OEA, BCIE, Proyecto Alianzas y WANI de IUCN, ARAUCARIA y otros), incluyendo la integración de redes de organizaciones de la sociedad civil para fortalecer estos procesos.

Se recomienda potenciar iniciativas en marcha apoyadas por el Proyecto Alianzas de IUCN, OEA, BCIE, BID y otras que requieren de este marco de cooperación entre los países para dar un marco jurídico e institucional a estas iniciativas como el caso de la Cuenca del Río Paz, Río Sixaola, Suchiate, etc.

4. Autoridades de cuencas constituidas y operando

Esta es una acción que debe enmarcarse en el contexto jurídico e institucional propio de cada país, para promover la creación de unidades que busquen una acción más coordinada y efectiva entre las distintas autoridades locales y grupos sociales organizados de cuencas, sin sobreponerse a competencias asignadas por ley a autoridades municipales y otros mecanismos institucionales y de participación propios de cada país.

5. Mancomunidades trabajando en la gestión integrada de cuencas transfronterizas

La legislación municipal es distinta en los países de la región. Algunos códigos municipales como el de Guatemala, buscan propiciar la integración de asociaciones municipales (mancomunidades) para la gestión integrada de los recursos hídricos, el manejo de cuencas, el manejo de residuos; es conveniente apoyar la integración de estas asociaciones o mancomunidades en las cuencas transfronterizas.

Consideraciones finales

Tal como se señaló al inicio de este capítulo, Centroamérica puede ser definida como una región de cuencas transfronterizas, ya que en un espacio de poco más de 500 mil km² existen 23 cuencas transfronterizas. Estas cuencas, que se denominan como internacionales o transfronterizas, abarcan el 41,94% del territorio de América Central, siendo las de mayor extensión las correspondientes a los ríos Usumacinta, San Juan y Coco. El tema central, tal y como se observó, es que la mayoría de estas cuencas transfronterizas o cursos

de aguas internacionales, como las llama la Convención de Nueva York, no tienen ningún esquema de gobernabilidad y, por tanto, se constituyen en tierra fértil para la generación de externalidades negativas y la emergencia de conflictos por el uso, distribución y acceso al recurso hídrico.

Por todo lo anterior, las nuevas iniciativas en términos de Ley Nacional de Aguas en Nicaragua y Honduras constituyen un importante avance nacional de modernización de la estructura de gobernabilidad. Sin embargo, estos cuerpos normativos solo mencionan someramente el tema de cuencas transfronterizas, como por ejemplo la Ley de Aguas Nacionales de Honduras cuando señala que los Consejos de Cuenca de ríos transfronterizos deben tener un representante del Ministerio de Relaciones Exteriores.

Igualmente, de las recomendaciones se desprende que existe una enorme debilidad institucional, ante ello las recomendaciones que se exponen en este documento, derivadas de un estudio hecho por el autor, se concentran en el fortalecimiento de la coordinación interinstitucional en el ámbito regional, en el desarrollo de acuerdos binacionales de gestión de cuencas, en la creación de comisiones de cuencas u organismos de cuencas transfronterizos y en el impulso a la estructura de las mancomunidades como fomento del poder local y de la sociedad civil.

Es por todo lo anterior que la Convención de Nueva York se presenta como un mecanismo ideal para guiar y fortalecer las acciones de los Estados en estos espacios. Los distintos usos de las aguas y su problemática, así como su potencial estratégico, constituyen importantes elementos en el desarrollo de la buena gobernabilidad de estos espacios. Igualmente, esto refleja con claridad una transición del esquema de soberanía absoluta a uno más flexible donde los recursos que se comparten entre Estados requieren una manera diferente de gestión.

En términos generales, la Convención hace hincapié en los medios que han de utilizarse para su aplicación, especialmente los principios “el que contamina paga” y “derechos que han de ser protegidos para las generaciones futuras”, ambos en apoyo de la idea del desarrollo sostenible. También tomaron en cuenta los conceptos de “cuenca hidrográfica” como una unidad de gestión y el de prevención de la contaminación en la fuente.

En síntesis, se podría concluir que la Convención deja claro que en todo acuerdo relacionado con una cuenca internacional, las partes contratantes deben considerar una serie de principios generales que pueden constituir una base sólida, caso de ser aplicados, para ayudar a prevenir los conflictos asociados a los recursos hídricos y, en su caso, a resolverlos. Entre estos principios, el de *utilización equitativa*, que implica que cada uno de los Estados de una cuenca tiene derecho a una porción razonable y equitativa del uso beneficioso del agua compartida; el de *prevención de perjuicios importantes a otros Estados*, cual es la obligación de no causar perjuicios de importancia a otros Estados mediante acciones que afecten a cursos de aguas internacionales; el de la *obligación de notificar e informar*, el cual atañe a la responsabilidad de una nación de notificar a otras cualquier actividad que puede afectarles; el de la *obligación de compartir datos*; el de una *gestión cooperativa de los ríos internacionales*, que afirma el derecho de todos los Estados de una cuenca a tomar parte en el desarrollo, uso y protección de los recursos hídricos compartidos; y el de la *obligación de resolver las disputas de modo pacífico*, conforme a lo establecido en la Carta de las Naciones Unidas, que exige que los países resuelvan todas sus disputas, no solo las derivadas de los recursos hidráulicos, sin recurrir a la fuerza.

Referencias bibliográficas

- Barandar, 2001.
- Hernández, A.; López, A. & Jiménez, A. (2009). Gobernabilidad e instituciones en las cuencas transfronterizas de América Central y México. Flacso-Costa Rica.
- Hernández, A.; & Ríos, M. (2006). América Central y la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Aguas Internacionales para Fines Distintos de la Navegación. CEMEDE-Universidad Nacional de Costa Rica.
- López, A. (2002). *Conflicto y cooperación en cuencas internacionales centroamericanas: repensando la soberanía nacional*. Universidad Nacional, Universidad de Costa Rica, Funpadem y Fundación Kukulcán.
- López, A. (2004). Environmental conflicts and regional cooperation in the Lempa river basin. Woodrow Wilson Center, Adelphi Research, CEMEDE. Environment, Development and Sustainable Peace Initiative. Berlín.
- López, A. & Cabrera, J. (2008). Gestión Integrada de Cuencas Transfronterizas en América Central como Elemento Dinamizador del Proceso de Integración Centroamericana. Estudios en apoyo al proceso de Integración Regional Centroamericana. PAIRCA-CSUCA. San Salvador-Ciudad de Guatemala.
- López, A. & Hernández, A. (2005). Fronteras y Ambiente en América Central: Los Desafíos para la Seguridad Regional. Estudio para FUNDAUNGO. San Salvador.
- López, A.; Wolf, A. & Newton, J. (2007). *Hydropolitical Vulnerability and Resilience Along International Waters: Latin America and the Caribbean*. UNEP. Division of Early Warning and Assessment. Nairobi,

KENYA.

- Naciones Unidas. (1997). Convención sobre el derecho de los usos de los cursos de aguas internacionales para fines distintos a la navegación. <http://www.un.org/depts/dhl-/spanish/resguids/resinssp.htm>. Consultado el 24 de julio de 2007.
- Pasos, R. (1994). *El último despale... La frontera agrícola centroamericana*. San José: Fundesca.
- Pastor, J. (2000). *Curso de Derecho Internacional Público y Organizaciones Internacionales*. Séptima edición, 1999, reimpresión 2000. Madrid: Editorial Tecnos.
- Rogers, P. & Hall, A. (2003). Effective Water Governance, Water Partnership, Technical Committee (TEC), Global Water Partnership. Sweden.
- Sánchez, A. (2003). Análisis del marco legal e institucional de mayor incidencia en la gestión y uso del recurso hídrico en El Salvador. Informe Técnico. San Salvador: Proyecto Concientización y educación ambiental integral en el ámbito local y cuencas seleccionadas en El Salvador (PROCEDAMO).
- SG-SICA. (2000). Plan de acción para el manejo integrado del agua en el istmo centroamericano. S.n.t.
- UIFC-FUNPADEM. (2000). *Cuencas internacionales: conflicto y cooperación en Centroamérica*. San José: Mundo Gráfico.
- Vargas, 2000.

CAPÍTULO 3

Agua en la actualidad: orientaciones y retos para abordar el tema de la governabilidad del agua en la agenda de investigación universitaria

Dra. Aurora Hernández Ulate

“Las perspectivas de elevar la calidad del medio y de crear una vida satisfactoria son grandes. Lo que se necesita es entusiasmo, pero, a la vez, serenidad de ánimo; trabajo afanoso, pero sistemático. Para llegar a la plenitud de su libertad dentro de la naturaleza, el hombre debe aplicar sus conocimientos a forjar, en armonía con ella, un medio mejor. La defensa y el mejoramiento del medio humano para las generaciones presentes y futuras se ha convertido en meta imperiosa de la humanidad, que ha de perseguirse al mismo tiempo que las metas fundamentales ya establecidas de la paz y el desarrollo económico y social en todo el mundo, y de conformidad con ellas” (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, 1972).

¿Por qué debe interesarnos el tema de la gobernabilidad del agua? Posiblemente, haya muchas respuestas para esta pregunta, pero la que se estima más importante, desde el punto de vista de este documento, es que casi el 11% de las personas en el mundo viven sin acceso al agua potable (UNICEF/OMS, 2012), es decir, más de 780 millones. Aunque se reconoce que en el ámbito global se han hecho muchos progresos en este aspecto, por ejemplo, en el 2010, 900 millones de personas no tenían acceso al agua potable. La situación aún sigue siendo preocupante y no se debe a las deficiencias en los procesos técnicos ni a la disponibilidad del agua, sino a problemas de gestión (Jiménez y Pérez-Foguet, 2010). Cuando se leen estos datos, cabe preguntarse, ¿qué sucederá en el futuro si se sigue gestionando el agua de la forma en que se hace actualmente?

Según el Informe Prospectiva Medioambiental de la OECD, para el 2030 se prevé un escenario con 3 900 millones de personas que estarán viviendo en zonas con escasez severa de agua, lo cual será una consecuencia del cambio climático y el uso y manejo insostenibles que se le da al recurso hídrico (OECD, 2008: 5).

En 1973, Labasse en su libro *la Organización del espacio* describió y analizó la importancia del agua denominándola la “dominante hidráulica”. En este análisis hizo hincapié en los aspectos fundamentales relacionados con este recurso, la organización de la sociedad y la planificación de su desarrollo. Hoy, casi cuatro décadas después, con asombrosos avances en la ciencia y la tecnología que le permiten al ser humano un dominio asombroso de los aspectos hidráulicos, el agua sigue siendo el motor determinante del cambio espacial, domina la jerarquía de los aspectos de primer nivel en la planificación territorial y su gestión sigue siendo un tema fundamental para el desarrollo humano. Sobre este último aspecto, en los decenios recientes, el tema del agua ha sido impactado por nuevos

tópicos que incluyen, por lo menos en teoría, la aplicación de conceptos como desarrollo sostenible, la gestión de cuencas hidrográficas nacionales e internacionales, la gestión integrada de los recursos hídricos y, últimamente, la gobernabilidad del agua (Tortajada, 2010; Dourojeanni, 2010).

Es importante que junto al uso del concepto de gobernabilidad aplicado al agua y a las cuencas hidrográficas, tanto nacionales como internacionales, haya otros conceptos que estén asociados a la administración de los recursos hídricos que fortalezcan los procesos de gobernabilidad, como por ejemplo, la gestión integrada de cuencas, el ordenamiento de cuencas y la gestión del agua, entre otros (Cuadro 1).

Cuadro 1

Algunos conceptos importantes relacionados con la administración y protección del agua y de las cuencas

| Concepto | Definición |
|-----------------------------------|--|
| Desarrollo integrado de la cuenca | Procesos que se dirigen hacia el desarrollo regional integrado tomando la cuenca como región (Dourojeanni, 2010). |
| Ordenamiento y manejo de cuencas | Es el proceso orientado a la conservación de las capacidades naturales de captación de agua de la cuenca, la calidad del agua y el escurrimiento e inclusive a la conservación de los caudales ambientales. Es una gestión de la cuenca considerando su efecto en la descarga de agua y en el ambiente (Dourojeanni, 2010). Este proceso está compuesto por un conjunto de acciones, planes, programas, actividades, prácticas y tareas que se orientan a ordenar la ocupación del espacio. Considera como aspectos importantes en la gestión los siguientes puntos: la captación, la protección de la red de drenaje, la cantidad de agua, la calidad del agua y los usos del agua (Dourojeanni, 2010). |

| | |
|---|---|
| Protección por cuencas | Tiene por objeto gestionar y mitigar los efectos de las inundaciones, sequías y deslizamientos, contaminación, alteraciones de los cauces, entre otros, para evitar desastres producidos por fenómenos naturales o de origen humano, como la contaminación (Dourojeanni, 2010). |
| Gestión integrada de los recursos hídricos en cuencas | Es el proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos asociados, para maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales (Global Water Partnership, 2009: 18). Dourojeanni (2010) afirmó que es la forma de gestión más buscada pero la menos aplicada. |
| Gestión ambiental por cuencas | Fórmula más reciente que considera que el agua es la base de la gestión ambiental, pues su calidad y disponibilidad en un ecosistema es un indicador del estado ambiental (Dourojeanni, 2010). |

Fuente: Dourojeanni, 2010 y Global Water (en p.95) Partnership, 2009.

Como se apreció en el cuadro anterior, son muchos los conceptos que se pueden encontrar en la práctica de la administración del agua, cuya orientación varía, por supuesto, con respecto a los fines de la aplicación. Pese a su diversidad, se pueden señalar aspectos en común, como la creciente utilización de la palabra agua no como sinónimo de recurso hídrico, sino como sustantivo que reconoce el papel fundamental del agua como elemento esencial de la naturaleza, cuya importancia va más allá de constituirse en un recurso, pues es la fuente de vida del planeta. Esto no es un cambio de palabras, es un cambio de paradigma. Otro aspecto esencial en estas definiciones es la referencia a una escala territorial para el análisis y aplicación de los planes y estrategias, ya que es posible observar que la literatura sobre este tema está dominada por la unidad espacial definida por la cuenca hidrográfica (Moss y Newig, 2010).

El objetivo de este capítulo es reflexionar sobre lo que significa la gobernabilidad del agua, con el fin de que esto nos ayude a vislumbrar algunas orientaciones que pueden marcar la investigación universitaria sobre el agua en el próximo decenio.

Antecedentes importantes de la incorporación de la gobernabilidad del agua en la agenda internacional

Globalmente, a principios de la década de 1960, con la publicación de documentos como el libro *La primavera silenciosa* de Rachel Carson (en p.94), se iniciaron las denuncias de las grandes preocupaciones ambientales por el crecimiento de la población (Ehrlich, 1968) y el aumento de la demanda de recursos naturales en un mundo con capacidades limitadas (Hardin, 1968). También se considera que estas denuncias, junto con el trabajo realizado en esa década por organizaciones como la UNESCO y programas como el Biológico Internacional, derivaron en el inicio del movimiento ambientalista (Blanco, 2004). A partir de ahí, en la década de 1970 se inició un trabajo en conferencias sobre el medio humano, el ambiente y la educación ambiental, que fue el pilar sobre el cual se asentaron las posteriores declaraciones y acciones orientadas a realizar transformaciones en la forma en que eran administrados los recursos naturales. Así, el acceso al agua de calidad y al saneamiento como recurso fundamental para la vida y como elemento fundamental para el desarrollo fue un tema cada vez más presente en las agendas de las naciones (Cuadro 2). Incluso en el Informe final de la Conferencia Río + 20, hay una sección dedicada a los compromisos relacionados con el agua, en los que se señala el compromiso con el derecho humano al agua y con la Declaración del Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” (ONU, 2012) (en p. 76, 78).

Cuadro 2

Principales acciones globales para la protección, acceso y gestión del agua

| Años | Eventos |
|------|--|
| 2012 | Conferencia Río + 20, Conferencia de Desarrollo Sostenible, Brasil. |
| 2012 | 6° Foro Mundial del Agua, Francia. |
| 2009 | 5° Foro Mundial del Agua, Turquía. |
| 2006 | 4° Foro Mundial del Agua, México. |
| 2005 | Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015. |
| 2003 | Año Internacional de Agua Dulce. |
| | Tercer Foro Mundial del Agua, Kioto. |
| 2002 | Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (Río + 10), Johannesburgo. |
| 2001 | Conferencia Internacional sobre Agua Dulce (Dublín + 10), Bonn. |
| 2000 | Objetivos de Desarrollo del Milenio 2000-2015. |
| | Segundo Foro Mundial sobre el Agua, La Haya. |
| 1997 | Primer Foro Mundial del Agua, Marrakech. |
| 1996 | Segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos (Hábitat II), Estambul. |
| | Cumbre Mundial sobre la Alimentación, Roma. |
| 1995 | Cumbre Mundial sobre Desarrollo Social, Copenhague. |
| | Cuarta Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Mujer, Beijing. |
| 1994 | Conferencia Ministerial sobre Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Ambiental, Noordwijk. |
| | Conferencia Internacional de las Naciones Unidas sobre Población y Desarrollo, El Cairo. |

| | |
|-----------|---|
| 1992 | Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente, Dublín. |
| | Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Cumbre de la Tierra), Río de Janeiro. |
| 1990 | Consulta mundial sobre el agua potable y el saneamiento ambiental para la década de 1990, Nueva Delhi. |
| | Cumbre Mundial en favor de la Infancia, Nueva York. |
| 1990-2000 | Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales. |
| 1981-1990 | Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental. |
| 1977 | Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, Mar del Plata. |
| 1972 | Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, Estocolmo. |

Fuente: Elaboración propia a partir del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2011.

Como se puede observar, son más de dos decenas de acciones en torno al tema del agua, cuyo efecto combinado ha sido, principalmente, posicionar en la agenda de las naciones el tema del agua y su gestión como un elemento fundamental para el desarrollo. Para ilustrar los resultados de estas acciones conjuntas se pueden citar los siguientes ejemplos:

- La declaración del período 1981-1990 como decenio internacional del abastecimiento de agua y servicios sanitarios tenía metas muy amplias, y puso en relieve lo difícil que sería alcanzar los objetivos establecidos con respecto al acceso al agua de calidad (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2011).
- Globalmente, las naciones están trabajando para conseguir los Objetivos de Desarrollo del Milenio (2000-2015), y uno de ellos, el objetivo 7 Garantizar la Sostenibilidad del

Medio Ambiente, contempla la reducción para el 2015 a la mitad el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable (Naciones Unidas, 2010). En el informe de las Naciones Unidas para el 2010 se señaló que existe un avance favorable en el cumplimiento del objetivo relacionado con el agua potable y se espera que en el 2015, el 86% de la población en países subdesarrollados tenga acceso al agua potable. En el 2012, en el informe de UNICEF/OMS se declara haber alcanzado la meta del milenio con respecto a reducir a la mitad el número de personas sin acceso al agua potable.

- La Declaración del Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida”, correspondiente al período 2005-2015, promueve la divulgación de la magnitud del problema del acceso al agua y la necesidad de tomar acciones urgentes (Organización Mundial para la Salud, 2005).

Las acciones globales emprendidas para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio parecen mostrar que la acción conjunta de la comunidad internacional y el cambio de los paradigmas referidos al ambiente y los recursos naturales se reflejan, hasta el momento, en cambios sustanciales. Sin embargo, es necesario apuntar que en la mayoría de los países subdesarrollados, aún persisten deficiencias en las políticas aplicadas para la gestión y gobernabilidad del agua (Tortajada, 2010).

Las deficiencias encontradas en estos países se relacionan con una visión de planificación a corto plazo, la escasez de financiamiento, el uso inadecuado de los recursos económicos disponibles, las limitaciones o la incompetencia de las instituciones, la necesidad de potenciar aún más el enfoque intersectorial, la carencia de los incentivos para el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías y la ausencia de programas atractivos de contratación que promuevan la incorporación de personal calificado a las instituciones relacionadas con la

administración del agua (Tortajada, 2010). Por ejemplo, en el caso de Costa Rica, el Plan Nacional de Desarrollo reconoce la necesidad de realizar una gestión integrada del recurso hídrico, pero indica que la gestión ambiental se realizará con propuestas sectoriales y una de ellas es el manejo de los recursos hídricos (MIDEPLAN, 2010). Adicionalmente, en este país el avance hacia un manejo integral de agua es lento por las deficiencias legales, pues no hay interés de actualizar la ley de aguas vigente desde hace siete décadas (Arias, 2011).

Tortajada (2010) señaló que hay situaciones problemáticas igualmente relevantes en los países desarrollados y los países subdesarrollados, por ejemplo, una inversión insuficiente para el desarrollo de infraestructura y el mejoramiento de los acueductos instalados, la insuficiencia de la coordinación y comunicación entre instituciones y la falta de mecanismos para la participación efectiva de los grupos interesados en distintas escalas.

En la actualidad, la administración del agua, desde la perspectiva conceptual y en algunos casos reflejada en la práctica, ha experimentado un cambio de un enfoque totalmente sectorial y centralizado, a un enfoque fundamentado en la desconcentración de la administración, la incorporación de la participación ciudadana y que percibe como deseable la gestión integral del agua (Biswas y Tortajada, 2010). Desde la década de 1990, es cada vez más frecuente que la forma de aproximarse al agua sea a través de la gestión integral de este recurso, que se percibe fue esbozada en sus principios por la Declaración de Dublín (Figura 1).

Figura 1

| | |
|---|---|
| <p>El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente</p> | <p>El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles</p> |
| <p>La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua</p> | <p>El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocerse como un bien económico</p> |

Fuente: Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, 1992. Principios rectores de la Declaración de Dublín

Adicionalmente, el cambio de una organización sectorial a una intersectorial fue, a su vez, permeado por otros aspectos como la globalización y el alcance mundial de los problemas ambientales (CEPAL, 2002), el establecimiento de cuotas para el abastecimiento de agua potable y descarga de aguas residuales (Rodríguez y Morales, 2000), el agua como un derecho humano (Naciones Unidas, 2010), la inclusión del agua como bien común (Barlow, 2009), reconocer el valor económico del agua (Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, 1992), la difusión de los valores de la ética ambiental (Rozzi, 2007), los desarrollos científicos y tecnológicos, las innovaciones en la gobernabilidad de los recursos con la participación ciudadana (Brown, 2011), el cuestionamiento o defensa de las instituciones públicas como suplidoras de

servicios básicos (Hall y Lobina, 2004) y el aumento de la demanda del recurso hídrico y la incertidumbre hidrológica que provocan el cambio climático (Stewart, 2009).

Según Biswas y Tortajada (2010), desde la perspectiva global, las instituciones relacionadas con el agua están sufriendo una ruptura radical con el pasado, esto implica que los modelos de administración hídrica están cambiando. Así, por ejemplo, en algunos países latinoamericanos se ha producido una urgencia de revisar la legislación sobre el agua para adecuarla a estas demandas y ha llevado a la revisión de las prácticas de gobernabilidad del agua, un ejemplo es el caso de la legislación mexicana sobre el agua. La administración centralizada, burocrática y de control sectorial del recurso es cada vez menos aplicable a los nuevos retos que enfrenta el manejo del agua (Michalsky, Miller y Steven, 2001; (en p.95) Gooijer, Rast y Tropp, 2009).

Hay nuevos temas emergentes que requieren de un marco ampliado de la participación y descentralización en el caso del recurso hídrico como son: los vinculados con el derecho humano al agua, la necesidad de establecer y respetar los caudales ecológicos, la distribución justa y/o equitativa del agua, la rentabilidad de las organizaciones y compañías relacionadas con la captación, distribución y comercialización del agua, el crecimiento urbano y los desarrollos demandantes de cuotas de agua cada vez mayores en zonas secas, entre otros. Estos aspectos pueden conducir a la conclusión de que la gestión del recurso hídrico se hará cada vez más compleja y, por lo tanto, los factores que conducen a una buena gobernabilidad del agua deben identificarse adecuadamente para hacerles frente a las nuevas demandas.

¿Qué es la gobernabilidad del agua?

En la actualidad, la gobernabilidad es un tema importante en la agenda internacional y nacional, debido a los cambios en el papel del Estado provocados por la creciente globalización e interdependencia global (Franks y Cleaver, 2007), sumados a que cada vez existe una mayor presión de los usuarios e interesados por el control del recurso hídrico y por la mayor conciencia de que velar por la administración y protección de las fuentes de agua asegura la cantidad y calidad de esta. Biswas y Tortajada (2010) afirmaron que el tema de la gobernabilidad ha presentado una atención creciente desde 1980-1989 en los documentos relacionados con el desarrollo, pero se considera relativamente novedoso cuando se refiere específicamente a los recursos hídricos.

La gobernabilidad del agua es un concepto amplio, no hay una sola definición para este término y se puede realizar y/o integrar a diferentes escalas (Tortajada, 2010). Este concepto se ha definido como “las interacciones entre estructuras, procesos y tradiciones que determinan cómo se ejerce el poder, cómo se toman las decisiones sobre cuestiones de interés público, y cómo los ciudadanos y otras partes interesadas tienen la palabra” (Graham, Amos y Plumptre, 2003: 3). Así, la gobernabilidad del agua requiere del reconocimiento del papel que tiene la sociedad en el ejercicio del poder y cómo las tradiciones y el modo de vida de una comunidad determinan la forma de valorar cuál es el mejor mecanismo para la toma de decisiones, la representatividad y la participación.

Graham et al. (2003) señalaron los siguientes elementos como fundamentales para que se produzca el ejercicio de una buena gobernabilidad, los cuales pueden aplicarse al tema del agua (Cuadro 3).

Cuadro 3

Los cinco principios de la buena gobernabilidad

| Principios | Aspectos que puede incorporar |
|-------------------|--|
| Legitimidad y voz | Participación. Mecanismos de creación de consensos. |
| Dirección | Visión estratégica, incluye el desarrollo humano y las complejidades del contexto histórico, cultural y social. |
| Rendimiento | Sensibilidad de las instituciones y procesos para atender las necesidades e inquietudes de los usuarios e interesados. |
| Responsabilidad | Rendición de cuentas a los sectores, usuarios e interesados. |
| Justicia | Equidad. Normativa legal. |

Fuente: Graham et al., 2003.

El informe Agua en un mundo cambiante (2009) señaló que la gobernabilidad del agua se refiere a las dimensiones política, social, económica, jurídica y a los sistemas administrativos que la sociedad dispone para asegurar la gestión de los recursos hídricos y los servicios que se puedan derivar de ellos (Gooijer et al., 2009). Para lograr esto, los ejecutores de los procesos de gobernabilidad relacionados con el agua deben preocuparse también por mejorar los marcos legales que regulan el recurso hídrico y del diseño de las políticas y de la institucionalidad, lo cual permite determinar las funciones y asignar responsabilidades a los actores involucrados, como por ejemplo, el gobierno central, gobiernos locales, instituciones gubernamentales y no gubernamentales, usuarios e interesados (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2011). Adicionalmente, la gobernabilidad del agua incluye los temas de salud, seguridad alimentaria, desarrollo económico,

uso de la tierra y protección del medio natural del cual depende el suministro de agua, entre otros (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2011).

Otra definición de gobernabilidad sugiere que está integrada por tres componentes esenciales: a) la capacidad del gobierno para administrar sus recursos, b) la prestación de servicios eficientes, y c) la formulación e implementación de políticas y regulaciones efectivas (Olivares, 2009: 1). En el caso de la gobernabilidad del agua, estos componentes están integrados por los aspectos que aparecen en el cuadro 4.

Cuadro 4
Principales aspectos que integran los componentes de la gobernabilidad del agua

| Componente | Se requiere conocer | Se debe disponer |
|------------|---|--|
| Agua | Cantidad | Recolección y gestión de la información y los datos. Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Medidas de protección de las fuentes de agua. Investigación y generación de nuevo conocimiento. Leyes actualizadas para la protección y uso sostenible de los recursos naturales. |
| | Calidad | |
| | Afectaciones estacionales de las fuentes | |
| | Capacidad de infiltración | |
| | Ubicación de las fuentes | |
| | Amenaza de la variabilidad climática | |
| | Caudales ecológicos | |
| | Riesgos actuales o potenciales que pueden afectar el agua | |

| | | |
|------------------------------------|--|---|
| Administración del agua | Usuarios y grupos de interés | Organización y desarrollo de instituciones. |
| | Empoderamiento | Normativas que permitan la participación, representatividad, empoderamiento y la resolución alternativa de conflictos entre los usuarios e interesados. |
| | Representatividad | Financiamiento de las inversiones. |
| | Participación | Modelo de administración y planificación del agua. |
| | Escenarios de potencial desarrollo | Mecanismos que garanticen la transparencia de los procesos de decisión y la rendición de cuentas. |
| | Mecanismos para la resolución alternativa de conflictos hídricos y ambientales | Mecanismos de cooperación entre instituciones formales e informales involucradas con la administración del agua. |
| Prestación de servicios eficientes | Vulnerabilidades que pueden afectar la continuidad y calidad del servicio | Normativa que permita la incorporación del pago de los servicios ambientales, que garantice un pago justo y equitativo por el servicio de abastecimiento y que reconozca como derecho humano el acceso al agua potable. |
| | Demanda | Investigación y generación de información sobre los usuarios y usos del agua. |
| | Oferta | Mejoras en la plataforma de servicios. |
| | Capacidad de pago | Financiamiento para inversiones administrativas y de protección del recurso y mejoramiento de las captaciones, líneas de distribución y sistemas de potabilización. |
| | Derecho humano al agua | |

| | | |
|---|--|--|
| Diseño e implementación de políticas y regulaciones efectivas | Necesidades actuales y escenarios potenciales sobre protección, uso, demanda, oferta y cambios en el clima | Conocimientos del estado del recurso y de las demandas sociales y ecológicas. Investigación y generación de conocimiento sobre escenarios que permitan visualizar los potenciales cambios y sus impactos en el futuro. Marco legal que permita la implementación de las políticas y la aplicación de las regulaciones. Enfoque intersectorial y modelo de gestión que incorpore la participación de los actores. Espacios de diálogo para el diseño de políticas y legislación. |
|---|--|--|

Fuente: Crespo, 2008.

Los elementos que aparecen en el cuadro anterior no se pueden interpretar como absolutos ni generalizados para medir la buena gestión del agua y de las cuencas. Sin embargo, sí son aspectos necesarios para el diseño de buenas prácticas, pues incluyen la institucionalidad, el enfoque intersectorial, la participación de usuarios e interesados, la evaluación de las condiciones del entorno y los factores críticos de la administración del agua, como son el valor del agua y la inversión en infraestructura.

Escalas espaciales de la gobernabilidad del agua

¿A qué escala debe implementarse la gobernabilidad del agua? Esta es una pregunta que varios investigadores han tratado de responder, dado que han reconocido la importancia de la escala espacial en la gobernabilidad de los recursos

naturales en general y, específicamente, en el tema del agua (Feitelson y Fischhendler, 2009). La selección de la escala de análisis y trabajo para la gobernabilidad del agua depende de las políticas que han sido diseñadas, las instituciones que se han creado o se desean crear, los procesos de administración que se hayan elaborado y de la forma del ejercicio del poder.

El tema de la escala de la gobernabilidad del agua incide directamente en el diseño de las instituciones y de las normas de esas instituciones para la toma de decisiones y esto, en consecuencia, va a determinar la inclusión o representatividad que obtengan los sectores interesados y usuarios y la posibilidad de las personas de participar activamente en la toma de decisiones.

En términos generales, el tema de la gobernabilidad del agua es o puede ser un tema multiescalar (Moss y Newig, 2010), dado que en la actualidad se están experimentando cambios sustanciales en las competencias institucionales y de intervención política, los cuales varían el modelo político vertical a procesos más horizontales en los que confluyen en muchas ocasiones las escalas supranacional, nacional, regional y local (Moss y Newig, 2010). La definición de la escala de la gobernabilidad es necesaria, pues esto determinará a qué nivel se diseñan y aplican las políticas, el ámbito de acción de las instituciones y los niveles de participación. En otras palabras, ¿por qué es importante la escala? Es importante porque define en términos de gobernabilidad del agua quién tiene influencia, quién decide, cómo y dónde (Swiderska, Roe, Siegele y Grieg-Gran, 2009).

Las investigaciones con respecto a las cuestiones de escala en la gobernabilidad del agua pueden agruparse en tres tipos (Feitelson y Fischhendler, 2009: 729):

- a) las investigaciones que se refieren al funcionamiento de los sistemas hídricos se centran en la cuestión de cuál es la escala más adecuada para gobernar el agua. En los

últimos años, se han desarrollado dos vertientes para enfocar esta situación, una relacionada con la gestión de cuencas, como parte de la gestión integrada del agua, y otra es la descentralización para fomentar la participación de la comunidad.

- b) la investigación sobre la política, principalmente dominada por los geógrafos políticos, está centrada en descubrir las estructuras de poder y las fuerzas económicas que determinan la escala de la gestión del agua y la manipulación de la elección de esta escala como parte de las luchas políticas y económicas sobre la utilización de los recursos.
- c) las investigaciones de las relaciones internacionales que se centran en la dimensión internacional del agua, considerando como un aspecto fundamental las perspectivas de cooperación en la gestión de aguas transfronterizas. En este sentido, uno de los temas discutidos es, si la interdependencia o la dependencia de un Estado que se encuentre ubicado en una cuenca internacional aguas arriba o aguas abajo puede ayudar o dificultar la formación de regímenes hídricos transfronterizos.

Feitelson y Fischhendler (2009) sugieren que los factores que afectan las escalas y sus orientaciones no solo se limitan al contexto de poder y las fuerzas económicas imperantes, sino en la investigación, como puede ser el caso de la investigación universitaria, también el diseño de la escala y su aplicación reflejan las ideas dominantes en una localidad y en una comunidad científica, por ejemplo, los valores asociados al agua, los usos históricos, la selección de la cuenca como unidad de análisis y el enfoque de la participación local.

A los geógrafos nos resulta sencillo imaginar a qué nos referimos cuando hablamos de escalas. Pero no en todas las investigaciones la escala tiene la misma conceptualización, ya que esta puede ser interpretada de formas distintas determinadas según la formación de los investigadores (Moss

y Newig, 2010). Moss y Newig (2010) distinguen dos tipos de interpretación de las escalas:

1. La primera, que no se refiere directamente al espacio o el territorio, hace referencia a la escala en términos de las dimensiones del análisis del problema de estudio, por ejemplo, la dimensión institucional, social o biofísica de la gestión del agua.
2. La segunda describe el nivel espacial o territorial de trabajo, por ejemplo, la investigación a escala de toda la cuenca, la subcuenca, el río o el municipio, si se aborda desde una perspectiva de sistema político-administrativo.

En la investigación universitaria, se podría apreciar que los problemas derivados entre las dos perspectivas anteriores surgen debido a la falta de coincidencia de las relaciones espaciales entre los procesos biofísicos y las estructuras y procedimientos administrativos y políticos (Moss y Newig, 2010). Según Moss y Newig (2010), los problemas operacionales que pueden surgir resultan de:

- Desajustes entre las escalas, son aquellos en los cuales no coincide la escala a la que se debe gestionar el agua con la escala en que se realiza la administración del Estado o el municipio.
- Identificación del nivel óptimo para abordar problemas colectivos, por ejemplo, la toma de una decisión local debe ser desde las comunidades, el municipio o el Estado.
- Problemas en la interacción entre distintos niveles (escala vertical de las relaciones), por ejemplo, la concordancia entre las políticas estatales de gestión del agua y los intereses locales.
- Problemas que emergen de la reconfiguración de los niveles escalares, por ejemplo, las incertidumbres iniciales que se pueden producir al descentralizar funciones o al aplicar enfoques participativos en la toma de decisiones.

- Problemas que surgen de los esfuerzos por generalizar ideas que son válidas desde la perspectiva de una escala y que se desea que se apliquen en otros niveles de la escala. Por ejemplo, es posible potenciar la participación o representación de todas las personas de la comunidad, pero lograr representar todos los intereses en la gestión del agua en el ámbito estatal es mucho más complejo.

Retos en la agenda del agua: conclusiones

El entorno de la gobernabilidad está cambiando debido a los procesos de globalización de los problemas ambientales y a los aspectos económicos, políticos, culturales y sociales, que amplían la interdependencia entre las naciones del globo. A estos cambios, se le une una transformación del enfoque primordialmente sectorial, que impera en la agenda institucional, desde hace cuatro décadas, hacia un enfoque cada vez más intersectorial que percibe el agua como un eje transversal en cualquier política de desarrollo y que observa como deseable la participación ciudadana en la propuesta de acciones y toma de decisiones.

Adicionalmente, existen temas emergentes que suponen la creación de espacios de comunicación y concertación entre usuarios e interesados en el tema del agua y que están relacionados con los siguientes aspectos: a) el valor económico del agua; b) el agua como derecho humano; c) el agua como caudal ecológico; d) los valores de la ética ambiental, que cada vez son más difundidos por la aplicación de una educación ambiental centrada en los valores; e) los potenciales conflictos que pueden ocurrir por el uso del agua; f) el agua como elemento integrador y generador de interdependencias y dependencias en cuencas internacionales; y g) el agua como propulsor de mejoras en la calidad de vida y factor central en la seguridad alimentaria y producción de energías alternativas.

Es necesario integrar los temas anteriores en las agendas de investigación universitaria y propiciar que el conocimiento que se produzca sea difundido en un lenguaje accesible a todos los niveles de la sociedad. Para avanzar en estos aspectos, algunos temas fundamentales que deben guiar una agenda de trabajo e investigación sobre el agua son los siguientes:

Información pública para la toma de decisiones. Es importante generar en la Universidad datos confiables, recolectados con métodos científicos, que sean comparables entre localidades, regiones y países. Estos datos deben ser públicos y de fácil acceso para permitir que las instituciones, usuarios y actores interesados en el agua puedan tomar decisiones en cuanto al uso del agua, la priorización de usos, la distribución de cuotas, la autorización de perforaciones de pozos y crecimiento de la urbanización, entre otros, especialmente en zonas secas o áridas.

Investigación en alternativas para las grandes urbanizaciones. Cada vez es más acelerado el ritmo de las urbanizaciones y mayor el número de personas que habitan en estas áreas. Es necesario aplicar tecnologías alternativas para el uso, reúso y ahorro del consumo de agua en las ciudades, principalmente en áreas secas. El papel de la investigación en la Universidad debe orientarse a crear esta tecnología alternativa y participar en su difusión.

Investigación que guíe el uso del agua en entornos secos. Los paisajes secos y áridos requieren que se desarrollen nuevas formas de distribución, de uso racional del recurso, medidas alternativas de captación como el agua de lluvia, de priorización de usos, de gestión de la resolución alternativa de conflictos y definición de políticas de desarrollo que consideren el agua como eje transversal.

Mesas de discusión sobre la buena gobernabilidad del agua. Los actores locales, regionales y nacionales deben empoderarse de los procesos de toma de decisión relacionados con el

recurso hídrico. Cada vez es más urgente que las medidas de uso racional del agua, de mitigación del cambio climático, de atención de emergencias hídricas y los temas prioritarios en la educación ambiental sean tomados en consenso en mesas de análisis donde estén representados todos los sectores involucrados.

Investigación sobre nuevas instituciones, arreglos institucionales y marco legal. Estos temas son necesarios para dar lugar a un enfoque integral del agua como derecho humano, el agua como un recurso con valor económico y el agua como elemento vital para los ecosistemas y el desarrollo. Por ejemplo, en Costa Rica aún no se cuenta con una legislación sobre el recurso hídrico que dé lugar al establecimiento de consejos o comisiones de cuencas que puedan encargarse local y regionalmente de los temas hídricos.

Investigación sobre las escalas en la gobernabilidad del agua. Es importante precisar quién, cómo y dónde se toman las decisiones con respecto a la administración del agua. Es pertinente preguntarnos, si en nuestra realidad podemos percibir algunos de los problemas relacionados con las escalas y cómo estos inciden en los niveles de participación, representación y toma de decisiones. Además, es pertinente preguntarnos en nuestro contexto, si es necesario llegar a un acuerdo para el uso de la unidad de cuenca hidrográfica como unidad de trabajo y análisis para los temas relacionados con el agua.

Investigación relacionada con el costo del agua y el derecho humano al agua. Es necesario abrir espacios para generar y ampliar la discusión sobre qué aspectos debe incorporar la tarifa hídrica y cómo se puede garantizar que esta tarifa hídrica sea accesible a todos los sectores de la población, reconociendo como principio fundamental el derecho humano al agua. Si bien existen ejemplos en Costa Rica de la aplicación de tarifas que consideran el pago de los servicios ambientales, estas no son aplicables en el resto del país.

Educación ambiental. Se hace cada vez más evidente la necesidad de continuar con la promoción de valores, actitudes y comportamientos ambientales que permitan un uso más sostenible y eficiente del recurso hídrico. Sin embargo, el reto en este aspecto es propiciar que la educación ambiental sea un eje transversal de la educación en todos sus niveles y que se generen mecanismos no formales para hacer llegar la información ambiental pertinente a los actores locales.

Referencias bibliográficas

- Arias, M. (2011). *Gestión del recurso hídrico y uso del agua, año 2010*. San José: Estado de la Nación.
- Barlow, M. (2009). OurWater Commons: Towards a New Freshwater Narrative: recuperado el 13 de noviembre de 2011, de The Council of Canadians. Recuperado de <http://www.canadians.org/water/publications/water%20commons>.
- Biswas, A. y Tortajada, C. (2010). Future water governance: problems and perspectives. *Water Resources Development*, 26 (2), 129-139.
- Blanco, M. (2004). *Gestión ambiental*. San José: EUNED.
- Brown, J. (2011). Assuming too much? Participatory waterresource governance in South Africa. *The Geographical Journal*, 177 (2), 171-185.
- Carlson, Rachel. (2010). *La primavera silenciosa*. Madrid: Editorial Crítica.
- CEPAL. (2002). *Globalización y desarrollo*. Brasilia: ECLAC.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. (16 de junio de 1972).
- Crespo, A. (2008). Gobernabilidad del agua. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Recuperado de: <http://www.ciccp.es/ImgWeb/Sede%20Nacional/miercoles%20ma%C3%B1ana/A.Crespo.pdf>
- Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. Recuperado de: http://www.medioambiente.cu/declaracion_estocolmo_1972.htm Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente. (1992).
- Declaración de Dublín. Recuperado de: <http://www.ibcperu.org/doc/isis/6302.pdf>

- Dourojeanni, A. (2010). Protocolos, lineamientos, definiciones aplicables a la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica. Recuperado de: http://revistavirtual.redesma.org/vol11/pdf/informacion/protocolos_cuencas.pdf
- Ehrlich, P. (1968). *La bomba demográfica*. Nueva York: Ballantine.
- Feitelson, E. y Fischhendler, I. (2009). Spaces of Water Governance. The Case of Israel and Its Neighbors. (A. O. Geographers, Ed.). *Annals of the Association of American Geographers*, 99 (4), 728-745.
- Franks, T. y Cleaver, F. (2007). Water governance and poverty: a framework for the analysis. *Progress in Development Studies*, 7 (4), 291-306.
- Global Water Partnership. (2009). *Manual para la gestión integrada de los recursos hídricos*. Londres: Global Water Partnership y Red Internacional de Organismos de Cuenca.
- Gooijer, G., Rast, W. y Tropp, H. (2009). Options inside the waterbox. En W. W. Programme, *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World* (págs. 241-268). París: UNESCO.
- Graham, J., Amos, B. y Plumptre, T. (2003). Governance principles for protected areas in the 21 st century. Recuperado el 24 de noviembre de 2011, de IOG.ca: http://iog.ca/sites/iog/files/pa_governance2.pdf
- Granados, C. y Jiménez, A. (2002). *Ambiente, conflicto y cooperación en la cuenca del río San Juan*. San José: FUNPADEM.
- Gurría, A. (2009). Sustainably managing water: challenges and responses. *Water International*, 34 (4), 396-401.
- Hall, D. y Lobina, E. (2004). Private and public interests in water and energy. *Natural Resources Forum*, 28, 268-277.

- Hardin, G. (1968). La tragedia de los comunes. Recuperado de EUMED: <http://www.eumed.net/cursecon/textos/hardintragedia.htm>.
- Jiménez, A. y Pérez-Foguet, A. (2010). Challenges for Water Governance in Rural Water Supply: Lessons Learned from Tanzania. *Water Resources Development*, 26 (2), 235-248.
- Kastens, B. y Newig, J. (2008). Will participation foster the successful implementation of the water framework directive? The case of agricultural groundwater protection in northwest Germany. *Local Environment*, 13 (1), 27-41.
- Michalsky, W., Miller, R. y Steven, B. (2001). Governance in the 21st century: power in the global knowledge. *Governance in the 21st Century*, 7-26.
- MIDEPLAN. (2010). Plan Nacional de Desarrollo. Resumen Ejecutivo. Recuperado de: http://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/a6aa6e67-6e6f-4b93-ae7b-579b089bfcf6/Resumen_%20PND_%202010_2014.pdf
- Moss, T. y Newig, J. (2010). Multi-Level Water Governance and Problems of Scale. Setting the Stage for a Broader Debate. *Environmental Management*, 46, 1-6.
- Naciones Unidas. (28 de julio de 2010). Asamblea General reconoce como derecho humano el acceso al agua. Recuperado de: <http://www.un.org/spanish/News/fullstorynews.asp?NewsID=18853>
- Naciones Unidas. (2010). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe 2010. New York. Recuperado de: http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2010_SP.pdf.
- OECD. (2008). Prospectiva medioambiental de OECD para el 2030. Recuperado el 13 de noviembre de 2011, de <http://www.oecd.org/dataoecd/2/34/40224072.pdf>

- Olivares, R. (2009). Gobernabilidad del agua: tiempo de definiciones. Información para la gestión y gobernabilidad. Recuperado de: http://www.atl.org.mx/seminario/images/ponencias/Gobernabilidad_del_agua_Roberto_Olivares.pdf
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2012). Report of the United Nations Conference on Sustainable Development. Recuperado de: <http://www.uncsd2012.org/content/documents/814UNCSD%20REPORT%20final%20revs.pdf>.
- Organización Mundial para la Salud (OMS). (2005). Celebración del Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida". Recuperado de: <http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/who%20spanish.pdf>
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). El centro de la gobernabilidad del agua del PNUD en el SIWI. ¿Qué es gobernabilidad del agua? Recuperado de: <http://www.watergovernance.org/spanishwgf>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2011). Hitos del agua. Recuperado de: http://www.unesco.org/water/wwap/milestones/index_es.shtml
- Rodríguez, L. y Morales, J. (2000). La aplicación de instrumentos económicos para disminuir la contaminación del agua: experiencias en el uso de cuotas por descargas residuales. *Análisis Económico*, 15 (31), 111-135.
- Roger, P. y Hall, A. (2003). *Effective Water Governance*. Stockholm: Global Water Partnership.
- Rozzi, R. (2007). De las ciencias ecológicas a la ética ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*, 80 (4), 521-534.
- Stewart, B. (2009). Evolving hazards and emerging opportunities. En *W. W. Programme, The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World* (págs. 211-225). París: UNESCO.

- Swiderska, K., Roe, D., Siegele, L. y Grieg-Gran, M. (2009). *The Governance of Nature and the Nature of Governance: Policy that Works for Biodiversity and Livelihoods*. London: International Institute for Environment and Development.
- Tortajada, C. (2010). Water Governance: a research agenda. *Water Resources Development*, 26 (2), 309-316.
- UNICEF/OMS. (2012). Progreso sobre el agua potable y saneamiento 2012. Recuperado de: <http://www.unicef.es/actualidad-documentacion/publicaciones/progreso-sobre-el-agua-potable-y-saneamiento-2012-en-ingles>.
- Wolf, A., Natharius, J., Ward, B. y Pender, J. (1999). International river basins of the world. *International Journal of Water Resources Development*, 15 (4).

CAPÍTULO 4

Evaluación de residuos de sustancias tóxicas en las aguas

M.Sc. María Luisa Fournier L.

Dra. Luisa E. Castillo

Dra. Elba de la Cruz M.

M.Sc. Rocío Ugalde S.

Introducción

Desde su creación en 1998, el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET) ha trabajado de manera integrada y multidisciplinaria la investigación científica, la extensión y la capacitación para evaluar y proponer soluciones en relación con el uso de contaminantes químicos en el país y la región. El equipo profesional está integrado por ecotoxicólogos, agrónomos, biólogos, químicos, ingenieros forestales, médicos epidemiólogos, antropólogos y psicólogos.

Durante su existencia, el IRET ha hecho un diagnóstico permanente de la importación y el uso de sustancias agroquímicas, ha investigado los niveles de exposición a plaguicidas y otras sustancias tóxicas como solventes orgánicos y antibióticos y su impacto en los ecosistemas terrestres y acuáticos, en la salud de los trabajadores agrícolas y de sus familias. Lo anterior con el objeto de buscar alternativas de producción más limpias que tengan como política la reducción del uso y emisiones de sustancias tóxicas.

El uso de sustancias químicas puede generar emisiones al ambiente en las diferentes etapas de su ciclo de vida, desde su fabricación o formulación, hasta su uso y disposición final en términos de residuos. Ello da lugar a la dispersión de contaminantes en los diferentes compartimentos ambientales, tales como agua, aire, biota y suelos. La dispersión ambiental va a depender del tipo de emisiones al ambiente y de las características físicas y químicas de las sustancias emitidas.

Los plaguicidas pueden llegar a las aguas subterráneas por lixiviación y a las superficiales mediante deriva por efecto del viento, por escorrentía y por descargas de aguas residuales contaminadas. Estos efluentes provienen de plantas formuladoras y empacadoras, o bien, de sitios en el campo donde se preparan las mezclas y se lavan los equipos de aplicación. Los residuos de plaguicidas en los cuerpos de agua superficiales pueden alcanzar concentraciones elevadas después de eventos fuertes de lluvia, accidentes o derrames y ocasionar efectos agudos como mortalidades de peces y otros organismos acuáticos. Concentraciones más bajas, pero por períodos más prolongados, pueden causar efectos crónicos en la comunidad biológica.

En Costa Rica no se cuenta con un programa de monitoreo sistemático de la calidad del agua enfocado en la presencia de plaguicidas. La mayoría de los datos disponibles y accesibles han sido generados por las universidades estatales. En este capítulo se presentan los datos de la importación de plaguicidas de los últimos 30 años y los resultados de estudios efectuados en el IRET donde se evalúa la presencia de residuos de sustancias tóxicas en las aguas. Los trabajos se han realizado principalmente en algunos sectores del Valle Central, del Pacífico Central y Norte y del Caribe en ecosistemas acuáticos asociados a áreas de cultivo de hortalizas, arroz, caña de azúcar, banano y piña.

Importación de plaguicidas

Uno de los trabajos de referencia importante para los estudios que realiza el Instituto son los registros anuales de la importación y el uso de plaguicidas agrícolas que hace el país, con la finalidad de conocer el volumen importado y usado de los diferentes ingredientes activos según el tipo de cultivo, su acción biocida (herbicida, fungicida, insecticida, nematocida, fumigante) y su comportamiento ambiental (persistencia en el suelo, riesgo de deriva y de contaminación del agua superficial y subterránea) (IRET-UNA, 1999 y 2011). Esta información permite generar índices de uso (por ejemplo: por área, trabajador agrícola, habitante) y aplicar diversos tipos de modelos, con el fin de estimar el riesgo de contaminación de las aguas superficiales por la escorrentía y el arrastre de los plaguicidas aplicados durante un ciclo de cultivo (Oliver y Kookana, 2005).

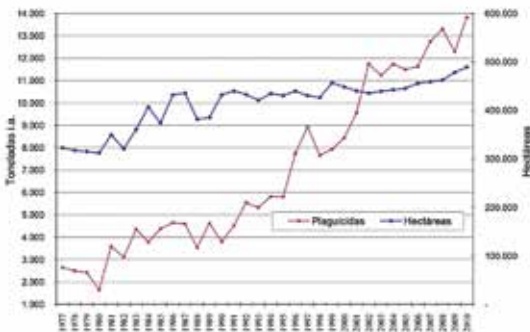
El alto consumo de plaguicidas sintéticos en la producción mundial de alimentos causa un gran impacto en el ambiente y en la salud humana. En Costa Rica desde mediados de la década de los 90, se registró un fuerte incremento en la importación y el consumo de plaguicidas, asociados a un aumento del área en cultivos de exportación, pues se intensificaron las siembras de flores y frutas como melón y piña. El área de siembra de piña creció un 400% en el período 2000-2010 (SEPSA, 2011) en zonas donde hubo pastos, arbolados y otros cultivos de menor uso de plaguicidas como naranja, granos básicos, raíces y tubérculos. También han aparecido nuevas plagas en cultivos de grandes extensiones y casos de resistencia a plaguicidas, para lo cual se recurre a productos aplicados en dosis y frecuencia mayores o a la introducción de nuevos productos.

Para el período 1977-2010, la importación de plaguicidas creció 4,4 veces, pasando de 2.648 a 11.636 TM de

ingrediente activo (i.a.); mientras que el área agrícola solo creció 1,3 veces, de 322.700 a 451.375 ha (Figura 1). En 1977, la importación por hectárea cultivada fue en promedio de 8,2 kg, y en el 2006, de 25,8 kg, esto por trabajador agrícola se traduce en un incremento promedio de 384%, y comprueba el cambio hacia una agricultura intensiva con un alto uso de insumos agrícolas (Ramírez et al., 2009).

En los últimos años, alrededor de un 20-25% del total de plaguicidas importados son exportados en producto formulado a países de Centroamérica y el Caribe, por esto el uso estimado para el 2006 en Costa Rica fue de 19,3 kg por hectárea cultivada, un valor 2,3 veces mayor al calculado para 30 años atrás (Ramírez et al., 2009). Según la base de datos del IRET, el uso estimado de ingrediente activo por hectárea por año es de 9,5-18,9 kg en arroz, 35-49 kg en banano, 6,5 kg en café, 10,1-14,8 kg en caña de azúcar y de 25-38 kg en piña; para hortalizas se estimó entre 11 y 163 kg/ha/año (Fournier et al., 2010a).

Figura 1



Fuente: Ramírez et al., 2009 y 2012.

Importación anual de plaguicidas y hectáreas de cultivo en Costa Rica. 1977-2010

Metodologías de estudio

Por lo general, para cada estudio se llevan a cabo diagnósticos específicos de uso de plaguicidas en los cultivos circundantes por medio de encuestas a los agricultores, con la finalidad de conocer las distintas sustancias que potencialmente podrían entrar a los acuíferos, ríos, quebradas, lagunas, humedales u otros cuerpos de agua investigados. Las muestras de agua (4L) y sedimento (1L) recolectadas usualmente son puntuales y se toman con frecuencia mensual, bimensual o trimestral, en estaciones ubicadas en diferentes puntos de la cuenca en estudio o en sitios de muestreo antes y después de los puntos de impacto identificados (Figura 2). Estas se trasladan en frío al Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP) del IRET para la determinación de multiresiduos de plaguicidas, donde se aplican dos métodos de extracción de la muestra en fase sólida, uno denominado SPE-GC para analizarla en un cromatógrafo de gases con detector de masas (GCMS) y otro llamado SP-LC para cromatografía líquida (HPLC) (UNE, (en p.146) 1998).

Figura 2



Foto de María Luisa Fournier

Fotografías de entrevista a agricultor y recolecta de muestra de agua para análisis de residuos de plaguicidas en una quebrada

En los lugares de muestreo se toman mediciones de temperatura, oxígeno disuelto, acidez y conductividad. Asimismo, se toman muestras de agua adicionales para analizar sedimentos (sólidos totales y sólidos suspendidos totales), contenido de materia orgánica y nutrientes como nitratos y fosfatos, entre otros. Tanto en el campo como en el Laboratorio de Estudios Ecotoxicológicos (ECOTOX) del IRET, la evaluación de la calidad de las aguas se complementa con una valoración biológica sobre el estado de los ecosistemas. Para esto se hacen estudios con biomarcadores sobre la diversidad de macroinvertebrados bentónicos y el fitoplancton, se valoran la vegetación riparia y el hábitat fluvial mediante la aplicación de índices (Acosta et al., 2009), se registran las mortalidades de peces y se realizan pruebas de toxicidad.

Con los marcadores biológicos o biomarcadores se miden cambios bioquímicos, fisiológicos o morfológicos en organismos que han estado expuestos a un tóxico; los biomarcadores son una herramienta para detectar cambios tempranos en una población por efecto de las sustancias tóxicas. Por ejemplo, valores bajos de la enzima colinesterasa en muestras de sangre podrían indicar la exposición a plaguicidas organofosforados. Asimismo, en el campo se pueden hacer ensayos con peces, estos se colocan en jaulas en el cauce del río donde permanecen por períodos de 48 horas. Posteriormente, se recolectan y se toman muestras de tejidos del cerebro, hígado y músculo para aplicar en el laboratorio distintos marcadores (Mena et al., 2014; Walker et al., 2006).

El estado de las poblaciones de macroinvertebrados es otro indicador de la salud del ecosistema; las muestras se toman pasando una red de mano sobre el fondo del cauce y luego de un proceso de separación e identificación de especies, se aplica el Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) modificado para Costa Rica. Este índice de monitoreo biológico asigna diferentes puntajes a las familias

de macroinvertebrados identificadas según su sensibilidad a la contaminación orgánica; la sumatoria de los puntajes obtenidos para todas las familias por sitio determina el nivel de calidad del agua (Minae-Salud, 2007).

En zonas bajas se ha utilizado el método de sustratos artificiales para estudiar la colonización por macroinvertebrados. Para ello se colocan varios sustratos en los puntos de interés y se recolectan 4 semanas después (Castillo et al., 2006; Martínez, 1998). En el laboratorio se realiza el proceso de separación e identificación de especies. Los datos pueden analizarse de acuerdo con los diferentes métodos (Barbour et al., 1997; Field et al., 1982; Castillo et al., 2006).

Para estimar la concentración de clorofila en los cuerpos de agua, utilizada como un indicador crudo de la densidad de especies fitoplanctónicas, se recolecta agua en botellas de vidrio ámbar (para evitar la degradación por la luz); luego en el laboratorio se concentra la muestra en un filtro de fibra de vidrio, se realiza la extracción de la clorofila con acetona y se determina la absorbencia a diferentes longitudes de onda, utilizando para esto un espectrofotómetro (Eaton et al., 1995). Para conocer la abundancia y diversidad de especies de fitoplancton se toman las muestras usando botellas de un litro de vidrio transparente; la muestra debe fijarse en el campo con lugol y una vez en el laboratorio debe trasvasarse a una probeta. La muestra se deja sedimentar por al menos 48 horas para descartar el 50% del volumen. Este proceso de sedimentación-decantación se repite hasta llegar a tener la muestra concentrada en 50 mL; el conteo de organismos se hace con el microscopio de luz utilizando un hemacitómetro o cámara Neubauer, como se observa en la Figura 3 (Guillard y Sieracki, 1978; Throndsen, 1978). La identificación del fitoplancton se lleva a cabo por especie, cuando es posible, o bien, por el taxa más cercano (Ugalde, 2006).

Figura 3



Foto de Rocío Ugalde

Fotografías en el laboratorio del proceso para estudiar la abundancia y diversidad de especies de fitoplancton

Por último, en el ECOTOX se llevan a cabo bioensayos con organismos dulceacuícolas como microalgas, microcrustáceos dáfidos, hidras y peces, así como con semillas de lechuga. Los organismos se colocan en muestras recolectadas en cuerpos de agua o efluentes para evaluar el grado de toxicidad de esta. También se utilizan los bioensayos para evaluar la toxicidad de un agente tóxico exponiendo los organismos a concentraciones graduadas de este y comparando con grupos de organismos no expuestos. Las pruebas de toxicidad pueden ser agudas o crónicas. Las agudas cuantifican las concentraciones letales de un agente tóxico de una especie en particular; el valor calculado se denomina concentración letal media (CL50) y corresponde a la concentración que causa la muerte al 50% de la población experimental, al cabo de un tiempo determinado. Las crónicas estiman una concentración efectiva media (CE50), la cual es la concentración de la sustancia de prueba que causa un efecto al 50% de la población experimental, al cabo de un tiempo determinado (Castillo et al., 2000a).

Sector central

Cuenca alta del río Reventazón: quebradas y nacientes de montaña

En la cuenca alta del río Reventazón en Cartago, se conforma en las faldas del volcán Irazú una microcuenca de 560 hectáreas entre las quebradas Pacayas y Plantón. En esa zona, entre 1.720 y 2.900 msnm, se concentra una parte importante de la producción hortícola nacional sobre suelos ricos y livianos de origen volcánico, fácilmente erosionables por las altas pendientes, la precipitación, la intensidad de uso y los métodos de labranza utilizados (Gómez, 2004). Para el área de estudio, Fournier et al. (2010a) estimaron un uso alto de fertilizantes agrícolas, allí se aplican entre una y cuatro toneladas métricas por año, según el tipo de hortaliza cultivada. El arrastre por las lluvias de estos nutrientes hacia las quebradas se aprecia en las concentraciones medidas de hasta 40 miligramos por litro (mg/L) de nitratos, valores que exceden la normativa nacional sobre la calidad de agua superficial para mantener la vida acuática (Minae-Salud, 2007).

Las concentraciones de nutrientes encontradas en las fuentes de agua para consumo de la población de los dos municipios no superan el nivel máximo de 25 mg/L recomendado, según el Reglamento para la calidad de agua potable (Ministerio de Salud, 2005). Sin embargo, por el alto uso de fertilizantes y la ubicación de las nacientes con respecto a las parcelas agrícolas, no se podría descartar la posibilidad de detectar en el futuro niveles de nitratos superiores al máximo establecido en el agua de consumo humano. Asimismo, se evidenció la presencia de sólidos suspendidos totales en ambas quebradas con potencial de impactar el ecosistema acuático, donde se analizaron valores mayores a 25 mg/L indicados por la legislación y hasta de 924 mg/L (Fournier et al., 2010a).

En análisis realizados en ese mismo estudio en cursos de agua con caudales menores a 200 L/seg se determinaron en una misma muestra hasta 13 plaguicidas distintos, y se detectaron residuos de plaguicidas en el 80% de 72 muestras recolectadas entre los años 2006 y 2009. El insecticida clorpirifós se encontró en el 55% de las muestras de agua recolectadas, este es bastante persistente en los suelos y, por lo tanto, está sujeto a arrastre por escorrentía hacia las quebradas; la concentración máxima encontrada en el agua fue de 0,3 $\mu\text{g/L}$ y es cien veces mayor a la concentración de 0,003 $\mu\text{g/L}$ permitida por la norma holandesa para la protección de los organismos acuáticos (EQS, Environmental Quality Standard) (Vrom, 2004). Se hace referencia a esta norma, pues en Costa Rica no se cuenta aún con este tipo de regulación.

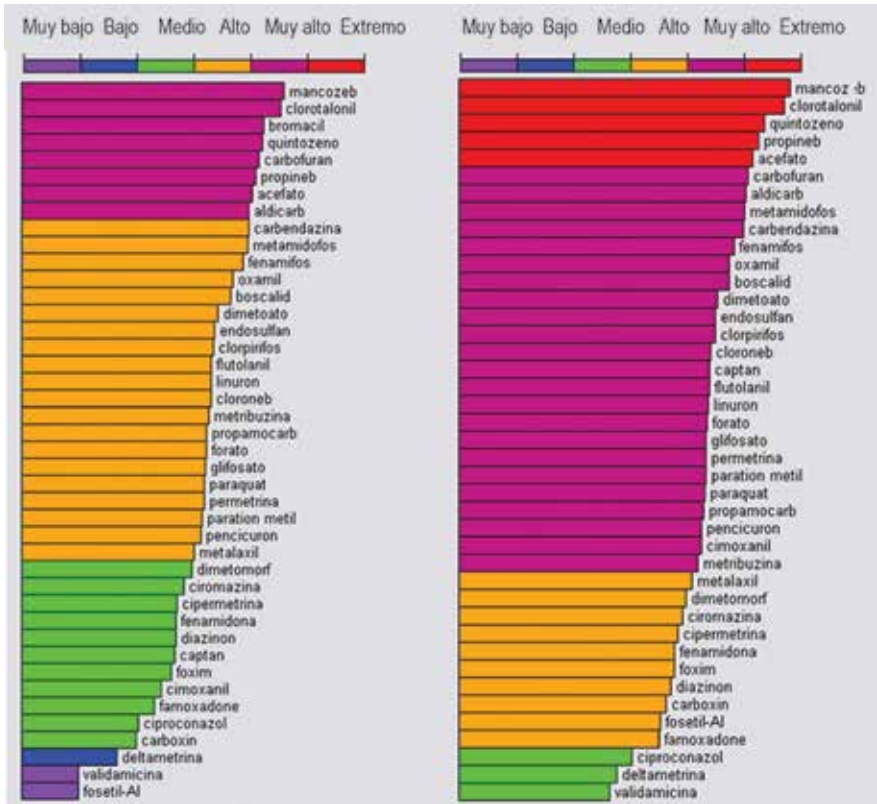
Si bien el clorpirifós es una sustancia catalogada como de bajo riesgo de lixiviación, es importante mencionar que se detectaron trazas en siete de las ocho muestras tomadas en una de las nacientes estudiadas, lo que da una alerta sobre la vulnerabilidad a la contaminación en la colindancia a las siembras. En otras de las nacientes se identificaron concentraciones bajas de clorotalonil y trazas de hexaclorobenceno, subproducto del clorotalonil y del quintozeno (PCNB), un compuesto orgánico persistente y muy tóxico para la biota acuática.

En las quebradas también se detectaron, entre otros, los fungicidas flutolanil, quintozeno y clorotalonil; este último presenta toxicidad de alta a extrema para peces, crustáceos, algas, plantas y anfibios (FOOTPRINT, 2006; BCPC, 2000). La concentración máxima de clorotalonil encontrada fue 5,6 veces mayor que la norma holandesa (EQS), y esto genera impactos en la vida acuática. De hecho, al aplicar el Índice BMWP-CR se clasificó el agua en las quebradas de calidad "mala, contaminada o muy contaminada".

Con datos de uso de plaguicidas en el cultivo de papa se aplicó el modelo PIRI Pesticide Impact Rating Index (Oliver

y Kookana, 2005) para estimar el riesgo de contaminación de las aguas superficiales por la escorrentía y el arrastre de los plaguicidas aplicados durante el ciclo de cultivo. Se crearon dos condiciones diferentes según la frecuencia y cantidad de lluvia, y la pendiente y cercanía del cultivo a la quebrada, y se estimó de 65 a 90% de las sustancias aplicadas en papa con un riesgo alto, muy alto y extremadamente alto de movilidad hacia las quebradas (Figura 4). Con este modelo se pueden detectar los plaguicidas aplicados en una cuenca que son arrastrados hacia los embalses. De acuerdo con el uso de la tierra, los plaguicidas aplicados, la cantidad y frecuencia de uso y las condiciones ambientales (pendientes, materia orgánica, lluvia) se infiere el riesgo de contaminación de las aguas superficiales, al evaluar el potencial de movilidad de los plaguicidas.

Figura 4



A

B

Fuente: Fournier et al., 2010b.

Caso A: 10% de pendiente, 500 mm de precipitación, a 10 m de distancia de la quebrada, 2,5 TM/ha/año de pérdida de suelo
 Caso B: 50% de pendiente, 1.000 mm de precipitación, a 1 m de distancia de la quebrada, 25 TM/ha/año de pérdida de suelo.

Movilidad de plaguicidas usados en cinco meses de cultivo de papa en la microcuenca Plantón-Pacayás, Cartago. 2009

Sector Pacífico Central y Norte

Cuencas de los ríos Tempisque, Bebedero y Tárcoles

A principios de los años 90 se realizó un primer estudio en los canales del área arrocera de Bagatzí y las quebradas colindantes del Parque Nacional Palo Verde. Este incluyó el análisis de residuos, bioensayos y biodiversidad de macroinvertebrados. Algunos de los plaguicidas encontrados y sus concentraciones máximas fueron: el propanil (5,1 µg/L), el quinclorac (790 µg/L), la cipermetrina (6,6 µg/L) y el metamidofós (82 µg/L) (Castillo et al., 1997). Igualmente, se demostró una alteración en la estructura de la comunidad macrobentónica en los sitios más contaminados (Martínez, 1998).

En los años 2004 y 2005 se realizó un diagnóstico del impacto agrícola sobre el Parque Nacional Palo Verde en Guanacaste, el cual contiene varios humedales en la zona de inundación de los ríos Tempisque y Bebedero. En ese período, en los alrededores de Palo Verde grandes haciendas agrícolas y parcelaciones campesinas, como Bagatzí, Playitas y San Ramón, cultivaron arroz y caña de azúcar, y varias aprovecharon la cercanía de los canales del distrito de riego Arenal-Tempisque (Figura 5). Para los años de estudio se estimó mediante encuestas a los agricultores, un uso de plaguicidas de 42,4 TM de ingrediente activo en 6.150 ha de arroz y 33,4 TM en 6.200 ha de caña de azúcar, lo que representa una carga de tóxicos para el ecosistema en el sector norte del parque. De hecho, en las aguas del río Tempisque y en un drenaje de parcelas de arroz en el humedal Poza Verde, colindantes con el sector norte del parque nacional, se detectó la presencia de diez plaguicidas en concentraciones (µg/L) de hasta: 0,02 de α -endosulfán, 0,04 de β -endosulfán, 4 de dimetoato, 0,4 de epoxiconazol, 1,5 de propiconazol, 3 de ametrina, 1,2 de terbutrina, 1,8 de diurón, 1 de triazofós, 13,3 de butaclor y trazas de diazinón (Fournier et al., 2006).

Además, se comparó la diversidad de macroinvertebrados en los sitios antes y después de los cultivos. Para el área estudiada, se identificaron grupos taxonómicos sensibles a la contaminación y, por tanto, se consideraron indicadores como las larvas de insectos alados Trichoptera y Ephemeroptera (en especial, la familia Leptoheptidae). También se encontró abundancia del caracol *Melanoides tuberculata*, una especie resistente a aguas de mala calidad. En este estudio se determinó, de acuerdo con la sensibilidad de las familias de macroinvertebrados identificados y con la presencia de sustancias tóxicas, que la biodiversidad de los sitios estudiados es menor en aguas abajo de las actividades agrícolas, las cuales representan una amenaza al Parque Nacional Palo Verde (Fournier et al., 2006).

Figura 5



Áreas agrícolas en el sector norte del Parque Nacional Palo Verde. 2005

Una situación similar fue documentada anteriormente, en el sector este del Parque Nacional Palo Verde, sobre el impacto que ejercían los arrozales del Proyecto Tamarindo sobre el humedal La Bocana. En el drenaje del campo de cultivo

hacia una quebrada natural y al humedal, se detectaron cuatro insecticidas organofosforados y uno organoclorado; y trazas (en concentraciones bajo los límites de cuantificación) de dos de los organofosforados en el humedal del Parque. Entre los residuos de insecticidas se encontraron dimetoato y diazinón, sustancias también detectadas cuatro años después en las aguas de la parte norte del Parque. Asimismo, la diversidad de las poblaciones de macroinvertebrados disminuyó en aguas abajo de los cultivos (Rizo-Patrón, 2003).

De 1995 a 1998, de la Cruz et al. (1998) y de la Cruz (1999), realizaron un estudio en la cuenca del Tempisque (desembocadura al Golfo de Nicoya) y en Punta Morales (río Lagarto, antes de la desembocadura al Golfo de Nicoya), en el cual se recolectaron 89 muestras que incluían agua, sedimento y biota, distribuidas en 11 campañas de muestreo, para analizar la presencia de alrededor de 40 ingredientes activos de plaguicidas. En el 18% de estos muestreos se hallaron residuos de plaguicidas, el 9% cerca de la desembocadura del río Tempisque donde se encontraron ametrina, atrazina, hexazinona y el 9% en el río Lagarto (aguas abajo de una formuladora de plaguicidas en Punta Morales) donde se detectaron terbufós, fenamifós y propiconazol. También se realizó un experimento para determinar, a diferentes intervalos de tiempo, el comportamiento ambiental, la toma y acumulación de plaguicidas en bivalvos de la especie *Anadara tuberculosa* (conocida como piangua) expuestos durante cinco días a una mezcla de 10 plaguicidas en diferentes condiciones ambientales (agua de mar artificial, agua de mar natural, agua de mar filtrada y agua de mar natural más 1 g/L de sedimento). Clorotalonil, clorpirifós, terbufós, tiabendazol, imazalil y diazinón desaparecieron rápidamente durante el primer día del experimento; carbofurán, etoprofós, ametrina y propiconazol se detectaron en el agua hasta el final del experimento; y terbufós, propiconazol, ametrina, clorpirifós, imazalil y tiabendazol fueron encontrados en el tejido de los bivalvos.

Mediante estos ensayos se lograron observar diferencias en los mecanismos de concentración de plaguicidas en bivalvos, según la solubilidad y el coeficiente de partición octanol-agua; algunos plaguicidas como terbufós se absorbieron en tan solo pocas horas, mientras que otros como propiconazol tardaron días para bioacumularse.

Datos recientes (de la Cruz et al., 2014) sobre la calidad de las aguas utilizadas en la agricultura que colinda con el Parque Nacional Palo Verde informan de residuos de diferentes ingredientes activos de plaguicidas, entre los que se encuentran: ametrina, terbutrina, dimetoato, diurón, epoxiconazol, propiconazol, cipermetrina, β -endosulfán y hexazinona. Esto confirma que la emisión continua de plaguicidas en el ambiente se mantiene por más de dos décadas. Es probable que existan ya efectos crónicos importantes sobre la biota del Parque y los alrededores debido a la exposición continua a las sustancias tóxicas. De hecho, el cálculo del riesgo llevado a cabo en esta investigación pone en evidencia el problema. Se utilizaron las concentraciones de plaguicidas analizadas en el agua para determinar un índice de riesgo, el cual incluyó a la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), la pulga de agua (*Daphnia magna*) y el alga (*Selenastrum capricornutum*); en la mayoría de los sitios, la concentración determinada de plaguicida representó un riesgo agudo alto para los organismos acuáticos.

Además de la presencia de plaguicidas agrícolas en la cuenca baja de los ríos Tempisque y Bebedero, en un estudio reciente se han cuantificado residuos de antibióticos utilizados en las actividades agropecuarias y acuícolas desarrolladas en el distrito de riego Arenal-Tempisque y en la parte interna del Golfo de Nicoya. Los antibióticos son considerados contaminantes emergentes, es decir, sustancias químicas que se utilizan desde antes de la década de los 40 y que desde hace relativamente poco tiempo se cuenta con la tecnología necesaria para investigar su impacto en los ecosistemas. En

el ámbito internacional, desde el año 2000 se ha dado un incremento notorio en el número de publicaciones científicas sobre este tema. En la zona estudiada, los antibióticos se han utilizado, entre otros, en los cultivos de arroz y melón, en la crianza de cerdos y en el cultivo de peces dulceacuícolas y de camarones marinos (Arias, 2011a).

Se identificó el uso de 15 clases y 38 ingredientes activos de antibióticos, entre los que se encuentran las tetraciclinas, los macrólidos y las sulfonamidas. En un ejercicio de priorización del peligro relacionado con su uso, comportamiento ambiental, toxicidad y presencia ambiental de microorganismos resistentes se priorizó a las tetraciclinas, los macrólidos, las sulfonamidas, las quinolonas, los aminoglicósidos y los fenicoles y, particularmente, a la oxitetraciclina y al florfenicol como de peligro potencial para el ambiente en la zona de estudio (de la Cruz et al., 2014). Residuos de tetraciclinas, fenicoles y sulfas fueron encontrados en concentraciones en el rango de nanogramos y microgramos en efluentes de las actividades productivas antes mencionadas, así como en aguas superficiales de ríos cercanos. Los efluentes generados en actividades de producción animal mostraron efectos de toxicidad aguda en pruebas ecotoxicológicas realizadas con el microcrustáceo *Daphnia magna* (Arias et al., 2014).

Además, este estudio investigó la relación entre la intensidad del uso de antibióticos en actividades agrícolas y la magnitud de sus efectos sobre el metabolismo de poblaciones de microorganismos en sedimentos de agroecosistemas. Para ello se comparó la tolerancia a la oxitetraciclina, en concentraciones de 0 a 100 mg/L, de comunidades microbianas extraídas de sedimentos clasificados por su grado de exposición a antibióticos según la intensidad de uso y la detección de estas sustancias en muestras ambientales. Los sitios de recolecta de sedimentos fueron: el humedal Palo Verde, un arrozal, un estero ubicado entre camaroneras en la parte interna del Golfo

de Nicoya y los drenajes de una granja de peces y de cerdos. La tolerancia de la comunidad bacteriana de la porqueriza a la oxitetraciclina fue la más alta, seguida por los efluentes de la granja de peces. El incremento en la exposición a antibióticos de los sedimentos se tradujo en adaptaciones fisiológicas estables en la comunidad de bacterias allí presentes, manifestadas como un incremento proporcional en la tolerancia a concentraciones relativamente altas de una de estas sustancias. En este trabajo se detectaron efectos de la exposición a antibióticos en la estabilidad y biodiversidad de los ecosistemas, en varios niveles tróficos, desde las comunidades bacterianas hasta el zooplancton y otros invertebrados del fondo (Arias, 2011b).

De 1993 a 1996, Astorga et al. (1997) realizaron un estudio de la calidad del agua en 19 puntos a lo largo de la cuenca del río Grande de Tárcoles y se incluyeron, entre otros, el análisis de la comunidad macrobentónica, la utilización de microbio-tests de toxicidad aguda del crustáceo *Thamnocephalus platyurus*, del rotífero *Brachionus calyciflorus* y del alga *Selenastrum capricornutum* en efluentes industriales y domésticos, sedimentos y agua del río y su relación con el uso de la tierra. Ellos encontraron que el número de taxa (2 a 13) en la comunidad macrobentónica disminuyó hacia la parte baja de la cuenca y la abundancia de organismos aumentó en esa dirección. El número de taxa fue mayor en varios sitios de la cuenca durante la época lluviosa, esto fue atribuido al proceso de dilución por efecto de las lluvias. Por el contrario, cuando disminuyen las lluvias, la concentración de contaminantes aumenta y el agua en algunos sitios incluso se estanca. La calidad del agua, de acuerdo con las pruebas de toxicidad, disminuyó desde la parte alta (de aceptable a ligeramente contaminada) hacia las partes media y baja de la cuenca (de contaminadas a altamente contaminadas), lo cual atribuyeron a una mayor influencia de las actividades industriales, urbanas

y agrícolas en las secciones media y baja de la cuenca en relación con la parte alta.

Sector Caribe

Cuencas del río Suerre y Área de Conservación Tortuguero, Reventazón-Parismina y Madre de Dios

La alta aplicación de plaguicidas en la producción agrícola del Caribe de Costa Rica ha sido desde hace muchos años un tópico de interés para el Instituto (IRET-UNA, 2000; Castillo et al., 1997). Esta zona del país cuenta con un gran número de ríos, canales y lagunas costeras que albergan una rica diversidad de especies acuáticas, las cuales podrían estar amenazadas por la gran variedad y cantidad de agroquímicos utilizados en los extensos monocultivos de la zona. Estimaciones realizadas a finales de la década de los 90 indican que el banano utilizaba un tercio del volumen total de los plaguicidas importados por el país (Castillo et al., 2000b). Otro de estos monocultivos es la piña, el cual ha mostrado un crecimiento acelerado en los últimos años como se mencionó; el 31% de las hectáreas de piña sembradas en el país drenan directamente a la vertiente Caribe y el 51% a la vertiente norte en la cuenca del río San Juan y desembocan luego en el Caribe norte.

Los primeros muestreos se hicieron en 1992 en la cuenca del río Suerre, cuando un 15% del área total de la cuenca estaba sembrada de banano. Esta cuenca es importante, pues descarga en el Área de Conservación Tortuguero, donde se protegen ecosistemas acuáticos con una gran cantidad de especies animales y vegetales, como aves (garzas y garzones), reptiles (lagartos y tortugas), peces (róbalos, jureles, entre otros), crustáceos (camarones y cangrejos), moluscos, bivalvos, e incluso, especies en peligro de extinción como el

manatí. Además de indagar sobre los plaguicidas usados en los diferentes cultivos, se recolectaron 104 muestras de agua y 67 muestras de sedimento, en sitios como la planta empacadora de banano, quebradas cercanas a dicha planta, canales de drenaje de bananales, en el propio río Suerre y en los canales de Tortuguero (Castillo et al., 2000b).

En total se detectaron once plaguicidas de diferente acción biocida: ametrina, cadusafós, carbofurán, clorpirifós, diazinón, etoprofós, fenamifós, imazalil, propiconazol, terbufós y tiabendazol. Todos estos plaguicidas fueron encontrados en al menos un sitio de muestreo. Se detectó contaminación en el 97% de las muestras provenientes de la planta empacadora, en el 87% de las muestras de quebradas y canales aledaños a la planta, en el 61% de las muestras tomadas en el río Suerre y en el 76% de las muestras recolectadas en el Área de Conservación Tortuguero. Se detectaron entre uno y seis plaguicidas en las muestras contaminadas. Para estimar el riesgo de efecto de los plaguicidas encontrados sobre los organismos acuáticos, se compararon las concentraciones de cada plaguicida individual localizado en el estudio, con las concentraciones que se han determinado que tienen efectos adversos en organismos acuáticos. Al menos ocho plaguicidas encontrados sobrepasaron los criterios de calidad para la protección de la vida acuática (Castillo et al., 2000b).

Las tasas de toxicidad aguda y crónica, basadas en los niveles de plaguicidas encontrados en el estudio anterior, indicaron que ocho de los plaguicidas localizados podrían representar un riesgo de toxicidad para los organismos acuáticos. Para complementar estos hallazgos con lo que ocurre en el campo, se planteó otro estudio en una zona de cultivo de banano en Siquirres de Limón. Se evaluó la calidad de agua de las quebradas de la plantación bananera y de la planta empacadora de fruta, con el fin de darles seguimiento a las concentraciones de plaguicidas encontradas y relacionarlas con los efectos en los organismos acuáticos (Castillo et al., 2006).

En diferentes sitios se recolectó agua, con el fin de analizar plaguicidas y realizar pruebas de toxicidad en el día de la aplicación y los días subsiguientes. También se analizaron plaguicidas en sedimentos, así como nutrientes y sólidos suspendidos en el agua y se evaluó la comunidad macrobentónica usando sustratos artificiales. Esto permitió hacer observaciones sobre el comportamiento de los diferentes ingredientes activos en el ambiente. En total se detectaron once plaguicidas en el agua: los fungicidas clorotalonil, propiconazol, tiabendazol e imazalil; los nematicidas carbofurán, terbufós, cadusafós y etoprofós; los insecticidas diazinón y clorpirifós y el herbicida ametrina.

Se evaluaron las aplicaciones de los nematicidas terbufós, cadusafós y carbofurán, encontrándose concentraciones de todos ellos en las aguas con concentraciones pico observadas poco después de las aplicaciones. También se encontraron diferencias significativas entre los macroinvertebrados bentónicos ubicados en las plantaciones bananeras y en los sitios de referencia. Además, se encontraron cambios significativos en la composición de la comunidad macrobentónica después de las aplicaciones de los nematicidas terbufós, cadusafós y carbofurán (Castillo et al., 2006).

En las aguas del efluente de la planta empacadora se detectaron niveles relativamente constantes de cuatro plaguicidas (imazalil, tiabendazol, clorpirifós y propiconazol) que resultaron tóxicos para dafnias e hidras. Si bien la planta empacadora contaba con una trampa de sólidos esta no resultó efectiva para eliminar los residuos tóxicos.

De 1995 a 1998 se recolectaron en el Caribe 172 muestras de agua, sedimento y organismos acuáticos de diferente nivel trófico, con el fin de analizar residuos de 35 ingredientes activos de plaguicidas distribuidos en 12 campañas de muestreo. El 60% de las muestras de agua, el 6% de las de sedimento y el 2% de las de biota dieron positivas a la contaminación

por plaguicidas. En el sistema Tortuguero-Suerre se determinaron, principalmente, nematicidas y fungicidas aplicados en el cultivo de banano, tales como carbofurán, propiconazol, etoprofós, cadusafós, diazinón, fenamifós, clorotalonil y tiabendazol; en las muestras de sedimento se encontró propiconazol y en los organismos acuáticos se localizaron el lindano y el metabolito p,p-DDE. En el sistema Parismina-Reventazón se detectaron los fungicidas propiconazol y clorotalonil, los nematicidas etoprofós, fenamifós y el herbicida ametrina. En el 91% de los muestreos se encontró al menos un plaguicida, propiconazol en el 54%, etoprofós y carbofurán en el 36%, y cadusafós, diazinón y clorotalonil en el 9%. No se observó bioacumulación de plaguicidas en los organismos acuáticos recolectados, pues la mayoría de los plaguicidas detectados en el agua eran de baja afinidad a lípidos (de la Cruz et al., 1998; de la Cruz, 1999).

De 1993 a 1996, Astorga et al. (1997) realizaron también un estudio de la calidad biológica del agua en 18 sitios a lo largo de las partes alta, media y baja de la cuenca del río Reventazón. Esta investigación incluyó a la comunidad macrobentónica a través del cálculo de cinco índices biológicos: el Índice Biótico Belga (BBI), el Índice Biológico Gobal (IBG), los índices de Monitoreo Biológico de Puntuación Basado en Grupos (BMWP,ASTP), la primera propuesta de Índice Biológico para Costa Rica (CRBI) y la toxicidad aguda por medio de microbiotests de *Thamnocephalus platyurus*, de *Brachionus calyciflorus* y de *Selenastrum capricornutum* en efluentes agrícolas, industriales y domésticos, sedimentos y agua del río y su relación con el uso de la tierra. En la cuenca del Reventazón se encontró una mayor riqueza de taxa (el número de géneros varió entre 3 y 24, principalmente en grupos como Mollusca, Ephemeroptera, Hemiptera, Coleoptera y Trichoptera) e índices de calidad de agua mejores que en la cuenca del río Tárcoles. El 72% de los sitios del Reventazón calificaron como

de calidad de agua de aceptable a ligeramente contaminada, al menos una vez al año, e incluso en ríos como el Pejibaye con excelente calidad de agua en ciertas épocas de año. Solo un sitio en el Reventazón (Taras) resultó con calidad de agua de contaminada a altamente contaminada.

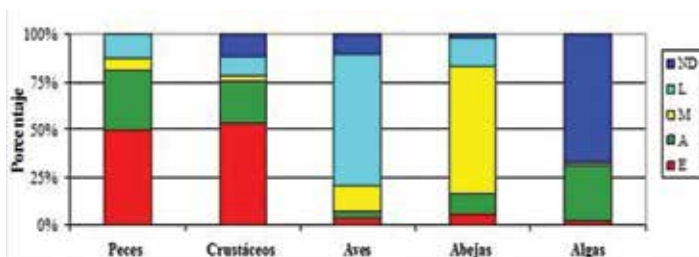
El número de taxa, al contrario del Tárcoles, fue mayor durante la época seca; esto coincidió con el resultado de los índices bióticos y de calidad de las aguas aplicados. Con algunas excepciones, el número de taxa fue mayor en la parte alta de la cuenca. Los autores sugieren que esto puede ser el resultado de la mejoría de los parámetros físicos y químicos del río, debido a su turbulencia natural, al sustrato rocoso y a las continuas inundaciones y las avenidas de agua en la época lluviosa. La calidad del agua del Reventazón está influenciada en especial por la agricultura extensiva (caña y café), la industria y el urbanismo. Los microcrustáceos fueron más sensibles en los sedimentos provenientes de efluentes del procesado de café que los rotíferos. En este estudio, los autores proponen, por primera vez, la creación de un índice biótico para Costa Rica, pues el BBI (Índice Biótico Belga) y otros índices subestimaban la calidad del agua del río en aquellas estaciones caracterizadas por una alta riqueza de taxa, con muy bajo número de individuos por taxa (Astorga et al., 1997).

Con la expansión a otro monocultivo, el de la piña, se presentaron denuncias sobre mortalidades de peces en una granja piscícola en la cuenca del río Destierro. En un muestreo de siete puntos en la cuenca, se analizaron residuos de plaguicidas en treinta muestras de agua y se detectaron siete ingredientes activos de plaguicidas, todos ellos utilizados en el cultivo de piña. Se encontraron los insecticidas diazinón, carbaril, etoprofós y clorpirifós y los herbicidas bromacil, diurón y ametrina, estos últimos aparecieron en el 90%, 80% y 64% de las muestras, respectivamente, y fueron las sustancias predominantes en las muestras durante todo el estudio.

Como la acción del bromacil se basa en su interferencia con los procesos fotosintéticos de las plantas, no se cree que esta sustancia sea la causante de las mortalidades de peces mencionadas; pero se sabe que la ametrina y el diurón sí son moderadamente tóxicos para peces y este último es, además, altamente tóxico para invertebrados acuáticos. Por otro lado, la presencia de insecticidas como diazinón y etoprofós de toxicidad alta para peces pudo ser responsable del efecto observado en la granja piscícola (Izar, 2003).

Herbicidas en altas concentraciones mostraron una presencia reiterada en aguas superficiales cercanas a plantaciones de piña y son, además, las sustancias de mayor uso en el cultivo (Chaverri et al., 2000). Por eso se planteó una investigación para evaluar posibles efectos sobre las poblaciones microalgales de los ecosistemas acuáticos circundantes. Existía, además, en ese entonces un desconocimiento del efecto tóxico de muchos plaguicidas sobre las algas. Esto se hizo evidente en la falta de datos de toxicidad para algas observada en los ingredientes activos que conformaban más del 60% del volumen de plaguicidas importados en Costa Rica entre 1992 y el 2001 (Figura 6). Esta situación ha cambiado. En un análisis similar realizado recientemente se encontró que entre 1990 y el 2009 este porcentaje había disminuido a menos del 25%, gracias a la generación de nuevos estudios y datos de toxicidad en el ámbito mundial (de la Cruz et al., 2011). Si los herbicidas, sustancias diseñadas para afectar procesos de fotosíntesis, estuvieran perturbando directamente el grupo de microalgas, base de la cadena trófica acuática, se podría impactar también de manera indirecta a otros organismos consumidores y generar un efecto de cascada que repercutiría en el resto del ecosistema.

Figura 6



Fuente: de la Cruz et al., 2004.

Toxicidad aguda para peces, crustáceos, aves, abejas y algas del 99% del volumen total de plaguicidas importados al país. 1992-2001. (ND: no hay datos, L: ligera, M: media, A: alta, E: extrema)

Con el objeto de conocer las diferencias en abundancia y diversidad del fitoplancton entre un río influenciado por tierras de cultivo de piña (río Limbo) y una quebrada no influenciada (quebrada Lajas), se realizaron análisis de nutrientes y de plaguicidas en el agua, así como conteos de células e identificación de fitoplancton para comparar las comunidades fitoplanctónicas de ambos sitios muestreados. Se comprobó el ingreso de una gran cantidad de sustancias provenientes de las piñeras cercanas al río Limbo, además de herbicidas también se detectaron fungicidas e insecticidas. En uno de los muestreos realizados, la concentración del insecticida diazinón superó en 444% y 222% el valor recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para la protección de los organismos acuáticos. Esta sustancia, así como otras encontradas en este estudio, son altamente tóxicas para peces e invertebrados acuáticos. Las concentraciones de herbicidas localizadas en este estudio estuvieron por debajo del valor recomendado por la USEPA para la protección de los organismos acuáticos; sin embargo, como en todos los muestreos puntuales de agua fueron

detectadas concentraciones de herbicidas, no se descarta la posibilidad de que en otros momentos estas sean mayores a las encontradas (Ugalde, 2006).

En el sitio con mayor influencia de la piñera, donde había más nutrientes y agroquímicos en el agua, el fitoplancton fue más abundante que en el sitio de referencia. La presencia de residuos de insecticidas puede afectar negativamente el zooplancton y otros consumidores de fitoplancton y, por ende, repercutir en una mayor abundancia de fitoplancton. No obstante, la diversidad de especies fue mayor en el punto de referencia con menor influencia de plaguicidas y donde la presencia de nutrientes fue suficiente para evitar la competencia entre las especies de microalgas. Además, varias especies clasificadas como indicadoras de contaminación fueron mucho más abundantes en los sitios contaminados, mientras otras especies sensibles a la contaminación solo estaban presentes en el sitio de control. Por lo tanto, en los sitios con influencia de piñeras se afectaron ciertas especies no tolerantes a herbicidas y se favorecieron otras especies resistentes a la contaminación. Esto pone en evidencia el riesgo potencial de la producción extensiva de piña con uso intensivo de plaguicidas, para los ecosistemas acuáticos, y puede proporcionar una alerta temprana para tomar acciones de protección a tiempo (Ugalde, 2006).

Además de la contaminación por plaguicidas, las actividades agrícolas tienden a generar una serie de impactos sobre los recursos hídricos, entre ellos, deforestación de las riberas, aumento de la carga de sedimentos y turbidez, incremento de la concentración de nutrientes y, en algunos casos, eutrofización de las aguas. Con base en estos criterios se estudió en la cuenca del río Jiménez, el estado ecológico de los ríos Santa Clara, Molino y Jiménez en siete puntos de muestreo; tres de los cuales no se encontraban en áreas agrícolas y los otros cuatro se ubicaban adyacentes a grandes

plantaciones de piña. Entre los principales resultados, se encontró que la calidad del bosque de ribera fue inferior en los cuatro sitios con influencia agrícola en relación con los tres de referencia. También la diversidad de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (insectos acuáticos, moluscos, crustáceos, entre otros) y el índice de monitoreo biológico adaptado a Costa Rica (BMWP-CR) fueron significativamente menores en los sitios con influencia agrícola. Asimismo, se encontró una mayor concentración de nitratos en los sitios adyacentes a campos agrícolas (Echeverría et al., 2010).

En cuanto a la contaminación por presencia de residuos de plaguicidas en el agua de los ríos, se encontraron nueve diferentes sustancias: los insecticidas diazinón, etoprofós y carbaril, los herbicidas ametrina, hexazinona, diurón y bromacil y los fungicidas triadimefón y clorotalonil. Estos plaguicidas se encontraron siempre mezclados y, en algunas ocasiones, se detectaron hasta siete diferentes residuos de plaguicidas en una sola muestra de agua. Seis de estos plaguicidas presentan una toxicidad de alta a extrema para organismos acuáticos; al exponer organismos de laboratorio (microcrustáceos, semillas de lechuga y peces) a las aguas de los sitios con influencia agrícola, se observaron efectos negativos tanto letales como subletales. Ello indica que en algunas ocasiones, las concentraciones de plaguicidas presentes en el agua son suficientes para provocar efectos sobre la vida acuática. Se requiere continuar evaluando todas las posibles estrategias, con el fin de disminuir la toxicidad y la utilización de cargas elevadas de plaguicidas en los cultivos, así como promover la incorporación de mejores prácticas agrícolas en el manejo de las fincas. Además, se debe insistir en el respeto por el bosque ribereño y su restauración donde haya sido deteriorado, pues este es indispensable para la protección de los cuerpos de agua superficiales. Estos bosques funcionan como barreras y filtros de contaminantes y, a la

vez, cumplen un rol trascendental como corredores biológicos (Echeverría et al., 2010; Echeverría, 2011).

En el 2009 se inició un estudio en la cuenca de la Laguna Madre de Dios ubicada en la zona costera entre los ríos Pacuare y Madre de Dios (Castillo et al., 2011). A esta cuenca drenan aguas provenientes de cultivos agrícolas como banano, piña, arroz y pastos. Entre el 2009 y el 2010 se evaluó la microcuenca del río Madre de Dios, donde el área agrícola ocupa aproximadamente el 50% de sus 14.758 ha. Los plaguicidas detectados entre octubre del 2009 y mayo del 2010 incluyeron insecticidas/nematicidas, herbicidas y fungicidas (ver cuadro 1) en concentraciones frecuentemente mayores a los parámetros de calidad del agua (WQC) para la protección de organismos acuáticos. Estas concentraciones se encontraron en quebradas aguas abajo del área agrícola. En la laguna costera, se analizaron hasta 5 plaguicidas en la misma muestra en concentraciones entre 0,06 y 1 µg/L. Los herbicidas ametrina y diurón y el insecticida diazinón se destacan en la mayoría de los sitios de muestreo. Estos plaguicidas usados en las plantaciones piñeras han sido hallados en otros estudios realizados en el IRET antes mencionados.

También se detectaron, con frecuencia, nematicidas tales como carbofurán, etoprofós, fenamifós y terbufós, así como algunos de sus metabolitos, que junto con el diazinón, están entre los compuestos más tóxicos con WQC entre 0,03 y 0,09 µg/L. Estos compuestos igualmente han sido encontrados con regularidad en los diferentes estudios realizados en zonas bananeras. Inclusive han sido vinculados a la ocurrencia de mortandades de peces.

Este estudio está generando información sobre la hidrología de la laguna y sobre los niveles de escorrentía de plaguicidas provenientes de las áreas agrícolas. También se evalúan parámetros biológicos como biomarcadores en peces, toxicidad para microcrustáceos y productores primarios como la *Lemna* sp. y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos mediante sustratos artificiales.

La información generada será utilizada para evaluar modelos de Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) que son ocupados con regularidad en países desarrollados para proteger los ecosistemas acuáticos. El objetivo es evaluar su aplicabilidad en zonas tropicales y eventualmente sugerir cambios que mejoren el modelo para su aplicación en regiones similares.

Cuadro 1
Resumen de los plaguicidas y sus concentraciones
máximas encontradas en muestras de agua recolecta-
das en la cuenca de la Laguna Madre de Dios en µg/L
(octubre 2009-mayo 2010)

| Plaguicida | RMD-C ¹ | Río | Canal/ quebrada | Laguna | Laguna-P ² | CMP ³ µg/L |
|------------------|--------------------|------|--------------------|--------|-----------------------|--------------------------|
| Ametrina | ND | 0,2 | 2,8 | 0,07 | 0,15 | 0,01 |
| Carbofurán | ND | ND | 5 | ND | ND | 0,91 |
| Carbofurán-fenol | ND | ND | 1,4 | ND | ND | ND |
| Clorotalonil | ND | 0,05 | ND | 0,07 | 0,05 | 0,08 |
| Diazinón | ND | 0,05 | 1,9 | ND | ND | 0,037 |
| Difenoconazole | ND | 0,8 | 0,8 | 0,8 | ND | |
| Diurón | ND | 1,2 | 9,5 | 0,1 | 0,2 | 0,43 |
| Epoxiconazol | ND | 1,1 | 2 | 0,4 | 0,2 | 1,2 |
| Etoprofós | ND | ND | 0,14 | 0,9 | 1 | 0,063 |
| Fenamifós | ND | ND | 2 | ND | ND | 0,0022 |
| Terbufós | ND | ND | 0,09 | ND | ND | 0,000034 |

¹RMD-C: Río Madre de Dios-sitio de referencia.

²Laguna-P: Laguna Madre de Dios en el extremo de la desembocadura del río Pacuare.

³CMP: Concentración máxima permisible (WQC o MTR) en cuerpos de agua superficial del plaguicida disuelto. La CMP en este caso significa la protección del 95% de las especies potencialmente presentes en un ecosistema (IRET-UNA, 2011).

ND: No hay datos.

Fuente: Castillo et al., 2011.

Los plaguicidas no solamente se dispersan en el ambiente acuático, sino que también son transportados por la atmósfera desde sus sitios de aplicación y se depositan en lugares distantes (Alegría et al., 2000; Shen et al., 2005). La dispersión por el aire de los plaguicidas puede llevar a la exposición de áreas terrestres cercanas o viento abajo de las áreas agrícolas. La dispersión a gran escala y deposición de plaguicidas organoclorados en áreas muy lejanas del sitio de aplicación es bien conocida (UNEP, 2003). El transporte de plaguicidas de uso actual a ecosistemas de altura ha sido documentado en Norteamérica (Le Noir et al., 1999).

Estudios en Costa Rica han demostrado la ocurrencia de este fenómeno (Daly et al., 2007). Un estudio demostró que plaguicidas usados en las zonas bajas del país son transportados y acumulados en áreas protegidas como parques nacionales y volcanes (Daly et al., 2007). Se recolectaron muestras de suelo y aire en 23 puntos de muestreo ubicados principalmente en áreas protegidas en distintos puntos del país. Las muestras de aire se recolectaron usando muestreadores pasivos que permanecieron en los distintos sitios de muestreo durante un año. Los plaguicidas detectados con mayor frecuencia fueron el endosulfán y el clorotalonil. Las concentraciones más altas se encontraron en los puntos más elevados; las concentraciones en las áreas protegidas en las montañas fueron hasta 10 veces más altas que las halladas en las áreas adyacentes a las zonas agrícolas (Daly et al., 2007). Los resultados indican que las corrientes de aire pueden transportar ciertos plaguicidas desde las áreas agrícolas en las zonas bajas hacia las áreas elevadas, donde las temperaturas bajas y la precipitación causan su deposición.

El agua subterránea también es susceptible a la contaminación por plaguicidas. Un estudio desarrollado entre el 2001 y el 2004 clasificó más de 400 pozos de la zona atlántica de Costa Rica de acuerdo con su vulnerabilidad a la

contaminación por plaguicidas (Ruepert et al., 2005). Se consideraron factores como las características de los pozos, el uso del suelo, la textura de este y el riesgo a inundaciones, así como el uso de plaguicidas en el área.

Se identificaron 70 pozos de los cantones de Pococí, Guácimo, Siquirres y Matina como los más críticos de acuerdo con su puntaje de vulnerabilidad. Posteriormente, se recolectaron aguas de estos pozos para analizar residuos de plaguicidas, coliformes y nitratos. Un 10% de los 101 pozos o nacientes muestreados contenía residuos de plaguicidas. El bromacil, herbicida utilizado en el cultivo de la piña, fue detectado con mayor frecuencia; se encontró este herbicida en dos nacientes que suministran agua potable para comunidades cerca de Siquirres y en los pozos cercanos a ellas. Esta sustancia, relativamente móvil y persistente en el suelo, ha causado en otras partes del mundo contaminación de las aguas subterráneas. Ello ha resultado en la restricción en su uso y hasta en su prohibición en varios países europeos (Ruepert et al., 2005). Este estudio identificó también la presencia de nitratos en concentraciones mayores a 5 mg/L en el 62% de las muestras recolectadas y del fungicida clorotalonil en concentraciones máximas de 0,2 µg/L.

Conclusiones

La contaminación por residuos de plaguicidas agrícolas se viene estudiando desde los años 90 en varias de las cuencas hidrográficas más importantes del país, y estos se han detectado en concentraciones que impactan los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad. Mediante la aplicación de pruebas de toxicidad de las aguas superficiales en el laboratorio, se han logrado detectar efectos letales y crónicos en diferentes niveles de la cadena trófica, tanto para el fitoplancton

y el zooplancton como para las poblaciones de moluscos y peces. Asimismo, se ha detectado ya una vulnerabilidad a la contaminación por plaguicidas en las aguas subterráneas, en pozos y nacientes que abastecen a poblaciones humanas.

Cada vez son más frecuentes los eventos de contaminación en el agua potable, y no existe, aparte de análisis bacteriológicos, un monitoreo regular de sustancias tóxicas en los acueductos. La falta de ordenamiento del territorio afecta directamente la calidad de las aguas subterráneas; por ejemplo, algunas áreas agrícolas de caña de azúcar están ubicadas en zonas de alta permeabilidad en la Península de Nicoya (Bravo, 2012), o cultivos de piña y arroz, en las regiones de vulnerabilidad media y alta a la contaminación en la cuenca del río Frío de la vertiente norte (Arias, 2011). En esos cultivos se aplican herbicidas con un alto potencial de lixiviación o de infiltración en los acuíferos, como 2,4-D, ametrina y bromacil. De igual manera, la falta del ordenamiento del territorio ejerce una presión ambiental sobre las áreas protegidas en las partes bajas de las cuencas, como los humedales de Palo Verde, Tortuguero y Caño Negro.

Por otro lado, las concentraciones altas de sedimentos y fertilizantes agrícolas son cada vez más frecuentes en los ríos y quebradas; el país no tiene regulaciones sobre el uso de fertilizantes, hay grandes deficiencias en las prácticas de conservación de suelos y, además, existe una desprotección casi generalizada de las márgenes de los ríos por deforestación. Los bosques riparios o bosques de ribera se han eliminado en la mayoría de las cuencas y en su lugar es usual ver cañales, arrozales, piñales, bananales, cultivos de hortalizas, entre otros, llegando casi al borde del agua. La protección de estos bosques de borde está regulada en el artículo 33 de la Ley Forestal n° 7575, el cual estipula que se deben guardar franjas de bosque entre 10 y 50 metros en ambas márgenes de los cursos de agua, según la pendiente y si la zona es rural

o urbana. En el país existe una falta a esta normativa, sin reacción alguna de las autoridades encargadas de velar por su cumplimiento. Los bosques riparios mitigan la entrada de sedimentos, nutrientes y residuos de plaguicidas a los ríos y protegen la calidad del agua y la biodiversidad (Hamilton y King, 1983; Naiman et al., 2005).

En el caso de la aplicación aérea de plaguicidas de alta volatilidad, debería analizarse de manera integral el comportamiento de las sustancias en la cuenca hidrográfica y la cuenca atmosférica de una región. De acuerdo con Daly et al. (2007), el insecticida endosulfán y el fungicida clorotalonil fueron detectados en los suelos y el aire de los parques nacionales Braulio Carrillo (sector de Barva) y Poás, provenientes de plantaciones de las llanuras del Caribe, donde se usan estos plaguicidas a gran escala. Las masas de aire mueven una parte de las sustancias aplicadas en las tierras bajas hasta las cimas de las montañas y luego en condiciones de temperaturas menores se precipitan sobre las áreas de conservación. La fumigación aérea ha sido recientemente prohibida en la Unión Europea, y este es un tema para reflexionar, pues al igual que se encuentra riesgo ambiental en las partes bajas de las cuencas, se detecta también en las alturas del país.

Finalmente, con referencia a los antibióticos, existe una preocupación creciente por el uso excesivo, la disposición de estas sustancias y sus efectos sobre la salud de las personas y los ecosistemas, principalmente referida al tema de la resistencia de bacterias patógenas en humanos. Los residuos de antibióticos entran a los cuerpos de agua a través de efluentes de aguas servidas de poblaciones, escorrentía y deriva de campos agrícolas, distribución de estiércol y lodos, y directamente del cultivo de organismos acuáticos. En general, se sabe poco acerca de la presencia, destino, efectos y riesgos asociados a los antibióticos en el ambiente (Kümmerer, 2003). La contaminación por antibióticos en el ambiente se puede

reducir con medidas apropiadas para la mitigación del riesgo; por ejemplo, limitando la tasa de aplicación, la cantidad de estiércol y lodos sobre los campos agrícolas o el acceso de animales de pastoreo tratados en cuerpos de agua superficiales. Además, es recomendable que haya rigurosidad en el uso del producto adecuado y la dosis precisa, así como la rotación de sustancias utilizadas en la producción animal, con el objetivo de disminuir la presencia de residuos en el ambiente (Wing Chin, 2008). Para la comercialización de productos veterinarios nuevos se deberían realizar evaluaciones de riesgo con pruebas de ecotoxicidad. Esto lo viene haciendo desde el 2001 la Unión Europea con datos en plantas, lombrices de tierra, escarabajos de estiércol, algas verdes, dáfidos y peces, con el fin de proteger la salud pública y el ambiente (Koschorreck et al., 2002).

Referencias bibliográficas

- Acosta, R.; Ríos, B.; Rieradevall, M. y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1): 35-64.
- Alegría, H.; Bidleman, T. y Shaw, T. (2000). Organohlorine pesticides in ambient air of Belize, Central America. *Environ. Sci. Technol.*, 34: 1953-1958.
- Arias, M. (2011). Estudio hidrogeológico regional de la cuenca del río Frío. Informe Final: Proyecto Río Frío, administrado por el INBIO y financiado por AECL. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Universidad de Costa Rica.
- Arias, M.J. (2011a). Exposición y efectos del uso de antibióticos en actividades productivas en Guanacaste. Recuadro para el XVII Informe del Estado de la Nación. Programa Estado de la Nación. San José.
- Arias, M.J. (2011b). Tolerancia a oxitetraciclina de comunidades bacterianas aerobias de sedimentos tropicales con diferentes grados de exposición a antibióticos. Tesis de Maestría Académica en Microbiología del Programa de Estudios de Posgrado en Microbiología, Parasitología y Química Clínica. Universidad de Costa Rica.
- Arias, M.; Mena, F. y Pinnock, M. (2014). Ecotoxicological evaluation of aquaculture and agriculture sediments with biochemical biomarkers and bioassays: antimicrobial potencial exposure. *Journal of Environmental Biology*, 35 (special issue): 107-117.
- Astorga, Y.; Pauw, N.; Coto, J.; Persoone, G.; Castillo, L.; Solís, J.; Beyst, B.; Lambert, V.; Amparado, R. y van Wichelen, T. (1997). Development and application of

- cost-effective methods for biological monitoring of rivers in Costa Rica. Final report, Joint research European Union Project No NCI1* CT-92-0094.
- Barbour, M.; Gerritsen, J.; Snyder, B. y Stribling, J. (1997). Revision to rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers-Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA 841-D-97-002. Washington D.C., USA.
- Bravo, V. (2012). Evaluación del riesgo de aguas subterráneas por uso de plaguicidas peligrosos en la Península de Nicoya, con énfasis en 2,4-D. Tesis de Maestría en Gestión y Estudios Ambientales. Escuela de Química. Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional.
- British Crop Protection Council. (2000). *The Pesticide Manual. A World Compendium*. Twelfth ed. Inglaterra: Clive Tomlin ed. BCPC.
- Castillo, L.; de la Cruz, E. y Ruepert, C. (1997). Ecotoxicology and pesticides in tropical aquatic ecosystems of Central America. *Environ. Toxicol. Chem.*, 16: 41-51.
- Castillo, L., Pinnock, M. y Martínez, E. (2000a). Evaluation of a battery of toxicity tests for use in the assessment of water quality in a Costa Rican laboratory. *Environmental Toxicology*, 15(4): 312-321.
- Castillo, L.; Ruepert, C. y Solís, E. (2000b). Pesticide residues in the aquatic environment of banana plantation areas in the North Atlantic Zone of Costa Rica. *Environmental Toxicol. Chem.*, 19(8): 1942-1950.
- Castillo, L.; Martínez, E.; Ruepert, C.; Savage, C.; Gilek, M.; Pinnock, M. y Solís, E. (2006). Water quality and macroinvertebrate community response following pesticide applications in a banana plantation, Limón, Costa Rica. *Science of the Total Environment*, 367: 418-432.

- Castillo, L.; Ruepert, C.; Ballesteros, D.; Brenes, C.; Vargas, S.; Álvarez, B. y Gunnarsson, J. (2011). Environmental changes and associated agrochemical impacts in a tropical coastal lagoon in the Caribbean area of Costa Rica. Deltanet Conference, Saint Carles de la Rapita, Catalonia, Spain, 6-10.
- Chaverri, F.; Soto, L.; Ramírez, F. y Bravo, V. (2000). Diagnóstico preliminar del uso de plaguicidas en los cultivos de arroz, banano, caña de azúcar, café, cebolla, melón, naranja, papa, piña, tomate, flores y plantas ornamentales. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. Universidad Nacional, Heredia.
- Daly, G.; Lei, Y.; Teixeira, C.; Muir, D.; Castillo, L. y Wania, F. (2007). Accumulation of current-use pesticides in neotropical montane forests. *Environm. S.ci. Tech.*, 41: 1118-1123.
- de la Cruz, E.; Castillo, L.E.; Polk, Ph.; Delbeke, K.; Blust, R.; Heip, C. y Merck, A. (1998). Study of the fate and impact of organic and inorganic pollutants in the Costa Rican Coastal zone. Final report, Joint research European Union Project. No. ERB C11*-CT94-0076.
- de la Cruz, E. (1999). On the distribution, fate and effects of pesticides on biota of tropical marine environments. Use of radiotracers. Final report: IAEA Co-ordination Research Programme: CRP contract N° 8446. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional, Heredia.
- de la Cruz, E.; Ruepert, C.; Wesseling, C.; Monge, P.; Chaverri, F.; Castillo, L. y Bravo V. (2004). Los plaguicidas de uso agropecuario en Costa Rica: impacto en la salud y el ambiente. Informe de consultoría para Área de Servicio Agropecuario y Medio Ambiente de la Contraloría General de la República. Universidad

- Nacional, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas IRET-UNA, Heredia.
- de la Cruz, E.; Bravo, V.; Ramírez, F. y Castillo, L.E. (2011). Volumen de plaguicidas importado en Costa Rica como herramienta para el monitoreo de los peligros para el ambiente período 1990-2009. Observatorio Ambiental, Universidad Nacional. Recuperado de: http://www.una.ac.cr/observatorio_ambiental/index.php?option=com_booklibrary&task=view&id=25&catid=45&Itemid=37.
- de la Cruz, E.; Pinnock, M.; Mena, F.; Echeverría, S.; Silva Z.; Ruepert, C.; Ugalde, R. y Morera, M. (2012). Impacto de los plaguicidas en el recurso hídrico de la zona baja de la cuenca del río Tempisque (Palo Verde), Costa Rica. Base científica para la gestión ambiental sostenible. Informe final de proyecto Fundación CR-USA. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional, Heredia.
- de la Cruz-Malavassi, E.; Fournier, M.; García, F.; Chavarría, G.; Ramírez, F. y Rodríguez, C. (2014). Hazard prioritization and risk characterization of antibiotics in an irrigated Costa Rican region used for intensive crop, livestock and aquaculture farming. *Journal of Environmental Biology*, 35 (Special issue): 85-98.
- Eaton, A.; Clesceri, L. y Greenberg, A. (1995). Spectrophotometric determination of Chlorophyll (phaeophytin corrected). In: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th ed. Washington, D.C.: American Public Health Association. Section 10200H.
- Echeverría, S.; Pinnock, M.; Mena, F.; Solano, K.; Ruepert, C.; de la Cruz, E.; Barata, C.; Lacorte, S.; Tauler, R. y Faria, M. (2010). Métodos biológicos para evaluar el estado ecológico de las comunidades ribereñas en

- zonas piñeras del Caribe de Costa Rica. Ponencia presentada en el Congreso Internacional CICTA 2010: VIII Congreso Ibérico y V Iberoamericano de Contaminación y Toxicología. 29 noviembre-4 diciembre. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Echeverría, S. (2011). Contaminación en ríos por cultivos de piña del Caribe. Recuadro para el XVII Informe del Estado de la Nación. Programa Estado de la Nación. San José.
- Field, J.G.; Clarke, K.R. y Warwick, R.M. (1982). A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Serv.* 8: 37-52.
- FOOTPRINT. (2006). The FOOTPRINT Pesticide Properties DataBase. Database collated by the University of Hertfordshire as part of the EU-funded FOOTPRINT project (FP6-SSP-022704).
- Fournier, M.L.; Rizo-Patrón, F.; Castillo, L.; Ruepert, C.; Ramírez, F. y Morataya, R. (2006). II Congreso de Ecotoxicología y Química Ambiental. Puebla, México. 24 a 29 de abril.
- Fournier, M.L.; Ramírez, F.; Ruepert, C.; Vargas, S. y Echeverría S. (2010a). Agroquímicos en ecosistemas hortícolas y pecuarios en la microcuenca de las quebradas Plantón y Pacayas en Cartago, Costa Rica. Documento Técnico No. 16. Proyecto Plantón Pacayas. INTA-MAG (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria), San José.
- Fournier, M.L.; Ramírez, F.; Ruepert, C.; Vargas, S. y Echeverría, S. (2010b). Diagnóstico sobre contaminación de aguas, suelos y productos hortícolas por el uso de agroquímicos en la microcuenca de las quebradas Plantón y Pacayas en Cartago, Costa Rica. Informe Final de Proyecto para INTA-MAG (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agrope-

- cuaria). IRET (Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas), Universidad Nacional, Heredia.
- Gómez, O. (2004). Estudio detallado de suelos de la microcuenca Plantón-Pacayas, Pacayas de Alvarado, Cartago. Proyecto Plantón-Pacayas. Documento Técnico No. 1. INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria), MAG, San José.
- Guillard, R. y Sieracki., M. (1978). Counting cells in cultures with the light microscope. En: Sournia, A. (ed.). *Phytoplankton Manual*. París: UNESCO, 239-242 pp.
- Hamilton, L.S. y King, P.N. (1983). Tropical Forested Watersheds, Hydrologic and Soils Response to Major Uses or Conversions. Boulder, Colorado: Westview Press.
- IRET-UNA. (1999). *Manual de Plaguicidas: Guía para América Central*. 2da. edición. Heredia: EUNA.
- IRET-UNA. (2000). Reducción del escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe. Informe Final: Costa Rica. Proyecto GEF/1100-99-04/PNUMA. Universidad Nacional, Heredia.
- Izar, M. (2003). Pesticides in a pineapple plantation. A study of the water quality of the Destierro river and its tributary creeks in the Limon Province, Costa Rica. Tesis para optar por el grado de Maestría en Ingeniería Química. He Royal Institute of Technology, Suecia.
- IRET-UNA. (2011). Plaguicidas de Centroamérica. Recuperado de: <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/>
- Koschorreck, J.; Koch, C. y Rönnefahrt, I. (2002). Environmental risk assessment of veterinary medicinal products in the EU—a regulatory perspective. *Toxicology Letters*, 131: 117-124.

- Kümmerer, K. (2003). Significance of antibiotics in the environment. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 52: 5-7.
- Le Noir, J.; McConnell, L.; Fellers, G.; Cahill, T. y Seiber, J. (1999). Summertime transport of current-use pesticides from California's Central Valley to the Sierra Nevada Mountain Range, USA. *Environ. Toxicol. Chem.*, 18: 2715-2722.
- Martínez, E. (1998). Macroinvertebrados bentónicos de Palo Verde. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Mena, F.; Fernández, M.; Campos, B.; Sánchez-Ávila, J.; Faria, M.; Pinnock, M.; de la Cruz, E.; Lacorte, S. y Barata, C. (2014). Pesticide residue analyses and biomarker responses of native Costa Rican fish of the Poeciliidae and Cichlidae families to assess environmental impacts of pesticides in Palo Verde National Park. *Journal of Environmental Biology*, 35 (Special issue): 19-27.
- Minae-Salud. (2007). Decreto Ejecutivo No. 33903. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. *La Gaceta* No. 178.
- Ministerio de Salud. (2005). Reglamento para la Calidad del Agua Potable. *Decreto* No. 32327-S. San José.
- Naiman, R.J.; Décamps, H. y McClain, M.E. (2005). *Riparia, Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. London: Elsevier Academic Press.
- Oliver, D. y Kookana, R. (2005). Pesticide use in the 6th Creek sub-catchment, Mt. Lofty Ranges, S.A. and assessment of risk of off-site movement using Pesticide Impact Rating Index (PIRI). CSIRO Land and Water Technical Report 11/05. Australia.

- Pesticide Action Network-UK. (2009). The list of lists. A catalogue of lists of pesticides identifying those associated with particularly harmful health or environmental impacts. London.
- Ramírez, F.; Chaverri, F.; de la Cruz, E.; Wesseling, C.; Castillo, L. y Bravo, V. (2009). Importación de plaguicidas en Costa Rica, periodo 1977-2006. Serie Informes Técnicos IRET No. 6. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional, Heredia.
- Ramírez, F.; Bravo, V. y de la Cruz, E. (2012). Importación de Plaguicidas en Costa Rica: periodo 2006-2012. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Reglamento para Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (2007). *La Gaceta* No. 178. San José.
- Rizo-Patrón, F. (2003). Estudio de los arrozales del Proyecto Tamarindo: agroquímicos y macroinvertebrados bentónicos en relación al Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Vida Silvestre. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe. Universidad Nacional, Heredia.
- Ruepert, C.; Castillo, L.; Bravo, V. y Fallas, J. (2005). Vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación por plaguicidas en Costa Rica. Estudio preliminar. Informe. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- SEPSA. (2011). Costa Rica. Área sembrada de las principales actividades agrícolas en hectáreas y producción de las principales actividades agropecuarias en toneladas métricas. Con base en información de las

- instituciones públicas y privadas del Sector Agropecuario y Gerentes de Programas Nacionales. San José.
- Shen, L.; Wania, F.; Lei, Y.; Teixeira, C.; Muir, D. y Bidleman, T. (2005). Atmospheric distribution and long-range transport behavior of organochlorine pesticides in North America. *Environm. Sci. Techn.*, 39: 409-420.
- Thronsdén, J. (1978). Preservation and storage. En: Sournia, A. (ed.). *Phytoplankton Manual*. Monogr. Oceanogr. Method. París: UNESCO, 6: 69-74.
- Ugalde, R. (2006). Impacto de herbicidas usados en piña sobre el fitoplancton de un río con influencia agrícola en la región del Caribe de Costa Rica. Tesis de Maestría del Programa de Maestría en Ciencias Biológicas con Énfasis en Ecología Acuática Tropical (ISATEC). Universidad de Bremen, Alemania.
- UNE. (1998). Calidad del agua. Determinación de ciertos agentes para el tratamiento de las plantas. Método por cromatología líquida de alta resolución (HPLC) con detección uv tras extracción sólido líquido. (ISO 11369 :1997), AENOR, España.
- UNEP. (2003). Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances. Global Report. UNEP. Chemicals, Geneva, Switzerland.
- Vrom, V. (2004). Regeling milieukwaliteitsein gevaarlijke stoffen oppervlaktewateren. *Uit: Staatcourant*, 247: 1-84.
- Walker, C.; Hopkin, S.; Sibly, R. y Peakall, D. (2006). *Principles of ecotoxicology*. 3 rd. ed. Florida: CRC -aylor & Francis.
- Wing Chin, R. (2008). Residualidad de sustancias xenobióticas en el suelo empleadas en la producción pecuaria. *Agronomía Mesoamericana*, 19(1): 99-114.

CAPÍTULO 5

Investigación del Laboratorio de Hidrología Ambiental en aguas subterráneas del Valle Central y Pacífico de Costa Rica

*M.Sc. Helga Madrigal Solís
M.Sc. Alicia Fonseca Sánchez
Dra. Jenny Reynolds Vargas*

Introducción

¿Qué es un acuífero?

Una porción importante del agua de lluvia, al entrar en contacto con el terreno, puede escurrir superficialmente hasta formar parte de los cuerpos de agua superficial. Otra parte del agua se infiltra a través de poros, grietas o cavidades del suelo o de la roca, ocupando los espacios disponibles en el subsuelo. Dependiendo de la estructura geológica, el agua puede quedar almacenada formando acuíferos, es decir, reservorios de agua que puede ser utilizada por el ser humano por medio de pozos o manantiales.

Tradicionalmente, se ha pensado que un acuífero se encuentra protegido de las diversas fuentes de contaminación

por las capas de suelo, roca y vegetación que lo sobreyacen. Sin embargo, a pesar de que el suelo constituye un excelente filtro natural que impide o retarda el paso de algunas sustancias potencialmente contaminantes, esta capacidad es limitada. Desde hace décadas se han dado eventos de contaminación en aguas subterráneas con sustancias provenientes de procesos industriales, lixiviados municipales y actividades agrícolas en diferentes partes del mundo.

La posibilidad de contaminación del agua subterránea depende, entre otros factores, del tipo de acuífero que la contiene y de la permeabilidad de los materiales que lo conforman.

Existen diferentes tipos de acuíferos, una clasificación muy general los divide en acuíferos libres y acuíferos confinados. La diferencia entre ambos radica en la presencia de un material geológico tipo impermeable en el techo de los acuíferos confinados y la ausencia de esta capa en los acuíferos libres. La permeabilidad se refiere a la facilidad con que el agua atraviesa el material geológico que forma el acuífero. Para muchos sistemas acuíferos se desconocen los grados de permeabilidad a lo largo de su extensión o esta varía mucho.

En vista de la lentitud de los procesos de lixiviación, la detección de una sustancia contaminante no se da de manera inmediata, especialmente si se trata de acuíferos profundos. Por esta razón, se dice que la contaminación de aguas subterráneas es un proceso lento y silencioso, y que una vez que se detecta puede tomar décadas para ser eliminada. De esta manera, es importante tomar en cuenta que, para una gestión inteligente y segura del recurso hídrico, la mejor práctica es prevenir la contaminación, en vez de tratar de corregir o remediar el problema una vez que ha ocurrido, lo cual resulta altamente costoso o imposible en el corto o mediano plazo. Existen acuíferos contaminados en diferentes partes del mundo, cuya calidad no ha sido posible recuperar, y no ha habido más remedio que dejar de utilizarlos con la esperanza de que se recuperen, después de décadas, por procesos naturales.

Utilización de aguas subterráneas en Costa Rica

La utilización de aguas subterráneas posee numerosas ventajas sobre las aguas que provienen de fuentes superficiales. Primera, los acuíferos no están sujetos a cambios bruscos de nivel como resultado de la disminución estacional de la precipitación o de otros cambios abruptos en el clima. Segunda, la calidad física y química natural de las aguas subterráneas en Costa Rica es generalmente superior a la del agua superficial debido a la protección natural proporcionada por los materiales que sobreyacen los acuíferos. Tercera, debido a que estas aguas en general no requieren mucho tratamiento y a que el desarrollo de proyectos de explotación (extracción) puede ser gradual, la utilización de los acuíferos resulta ser también ventajosa desde el punto de vista económico. En Costa Rica, se utiliza el agua subterránea para usos muy diversos como el agroindustrial, agropecuario, comercial, consumo humano, riego y turismo. Según datos del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), hasta el año 2012 hay registrados en Costa Rica más de 9,000 pozos y el número de pozos que esta institución aprueba es cada vez menor debido a la vulnerabilidad y sobreexplotación que se presenta en diversos acuíferos.

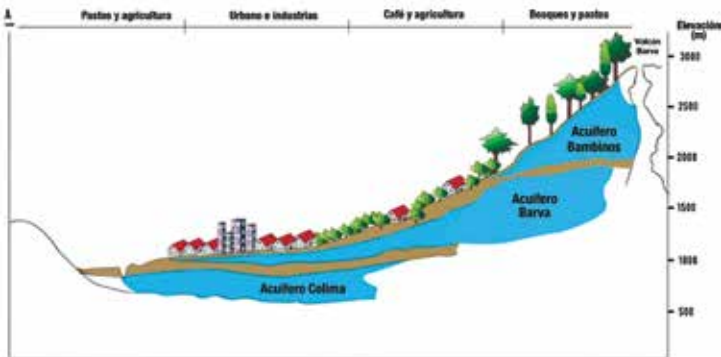
El Sistema de Acuíferos del Valle Central

En la región central del país, las altas tasas de precipitación hacen que exista una amplia disponibilidad de agua. Sin embargo, las aguas superficiales en general no resultan ser una alternativa viable, en especial en las partes bajas de las cuencas, en zonas urbanas y en regiones de agricultura intensiva, donde muchas veces se encuentran altamente contaminadas. Esto hizo que, a principios de los años 60, las aguas subterráneas comenzaran a ser utilizadas de manera

intensiva para satisfacer la creciente demanda de los pobladores de la Gran Área Metropolitana (GAM).

En la actualidad, más de un millón de personas utiliza para sus actividades aguas provenientes del denominado Sistema de Acuíferos del Valle Central, que incluye los siguientes acuíferos: Colima Superior, Colima Inferior, Barva, Los Ángeles, Los Bambinos (Figura 1) y La Libertad. Estas aguas son aprovechadas por medio de pozos y manantiales captados, los cuales son administrados por municipalidades, asociaciones administradoras de acueductos rurales, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) o propietarios privados. No obstante, la alta porosidad y permeabilidad de los suelos y rocas volcánicas y la alta precipitación sobre la región hacen que los acuíferos volcánicos del Valle Central sean potencialmente vulnerables a la contaminación.

Figura 1



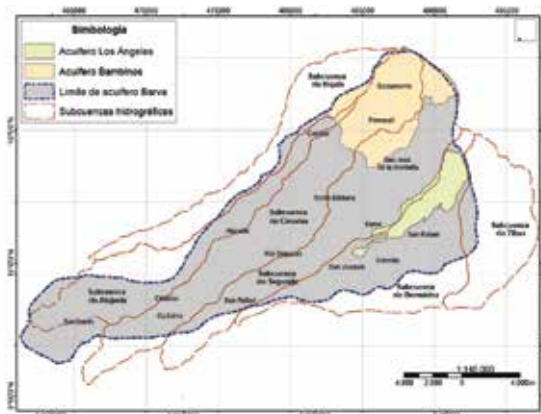
Fuente: Propia.

Sección transversal simplificada que muestra la disposición de los acuíferos del Valle Central

El sistema acuífero Barva

El sistema acuífero Barva posee una extensión aproximada de 220 km². Se extiende desde las zonas altas del Valle Central, al norte y noreste de la región y cerca del volcán Barva y de la divisoria continental, hasta el sureste del Valle. Este sistema está compuesto por los siguientes acuíferos: Barva, Los Bambinos y Los Ángeles. El acuífero Barva es sobreyacido, a su vez, por el acuífero Los Bambinos en el sector norte y por el acuífero Los Ángeles hacia el sureste (Figura 2). Esta condición indica que la recarga al acuífero Barva en estos sectores se da por drenaje desde los acuíferos Los Bambinos y Los Ángeles, a través de material tobáceo. En el resto de su extensión, el acuífero Barva es sobreyacido solamente por las tobas, de manera que la recarga al acuífero se da por infiltración directa de la precipitación. A pesar de tratarse de un sistema de tres acuíferos altamente conectados, en general a este sistema se le conoce con el nombre de acuífero Barva

Figura 2



Sistema acuífero Barva y subcuencas que lo sobreyacen

Una vez que el agua se infiltra y alcanza el nivel freático, viaja lentamente a través de las fisuras de las rocas volcánicas fracturadas que lo componen y descarga por medio de numerosos manantiales. Su descarga forma parte del flujo base de los ríos, es decir, el agua que constituye el caudal de los ríos permanentes durante la época seca.

Debido principalmente a sus características hidrogeológicas y al hecho de ser el más superficial de los cuerpos de agua del Sistema de Acuíferos del Valle Central, el acuífero Barva es vulnerable a la contaminación por sustancias tóxicas derivadas del desarrollo urbano, del industrial y de las prácticas agrícolas de tipo intensivo. Esta situación, aunada a la ausencia de un manejo adecuado de los desechos líquidos y sólidos, ha hecho sospechar de la existencia de sustancias potencialmente tóxicas para la salud humana que podrían infiltrarse y alcanzar el acuífero Barva. Entre estas se encuentran los derivados de plaguicidas, nitratos provenientes de tanques sépticos y de la aplicación de fertilizantes, metales pesados e hidrocarburos provenientes de talleres mecánicos, lubricadores y gasolineras.

Está demostrado, además, que el acuífero Barva puede transmitir agua hacia el acuífero Colima Superior, sobre el cual se encuentra, a través de fracturas en los materiales rocosos que los separan. Esto convierte al acuífero Barva en una posible fuente de contaminación para el acuífero Colima Superior, otra de las fuentes más importantes para abastecimiento de agua potable del Valle Central.

El quehacer del Laboratorio de Hidrología Ambiental

Desde principios de los años 90, se expresaron temores de que los pozos y manantiales que extraían agua de los acuíferos del Valle Central estuvieran siendo contaminados por nitratos y posiblemente por otros contaminantes (Reynolds

Vargas, 1992; Reynolds Vargas et al., 1993). Investigaciones preliminares y discusiones entre los especialistas y los administradores de los recursos hídricos en el país llevaron a identificar la necesidad perentoria de establecer un plan de manejo de los acuíferos. Sin embargo, era evidente también que sería extremadamente difícil desarrollar un plan de manejo sostenible e integrado de las aguas subterráneas sin una base científica adecuada y sin conocer la disponibilidad de agua y los mecanismos de recarga de los acuíferos.

En vista de lo anterior y de la evidente necesidad de conocer e investigar los procesos científicos relacionados con el impacto de las actividades humanas sobre las aguas subterráneas, en el año 1990 se creó el Laboratorio de Hidrología Ambiental (LHA) en la Universidad Nacional. Los resultados de la investigación desarrollada se han traducido no solamente en información científica novedosa, sino en recomendaciones proporcionadas a las entidades encargadas de la administración de los recursos hídricos en el país. Además de ello, el LHA ha realizado actividades en las que vincula en forma directa y explícita la investigación con la docencia, incluyendo la formación y capacitación de estudiantes universitarios y personal de instituciones públicas y privadas.

Entre las fortalezas del LHA se encuentra la generación e interpretación de datos ambientales (hidrogeológicos, hidráulicos, geoquímicos, uso del suelo, clima, entre otros) realizados por un grupo interdisciplinario como parte de la evaluación de los recursos hídricos subterráneos y del impacto de las actividades antropogénicas sobre estos recursos. Además, el LHA ha incursionado en el diseño de herramientas, recomendaciones y lineamientos que contribuyen a un manejo adecuado del agua subterránea, con base en la interpretación de información base.

A continuación se describen brevemente algunos de los proyectos más importantes desarrollados por el LHA.

El cultivo del café y otras prácticas agrícolas favorecen la lixiviación de nitratos

Si bien en algunos países de América Central, las aplicaciones de fertilizantes son relativamente bajas, durante los últimos cincuenta años, los cultivos altamente rentables, en general orientados a la exportación, han recibido lo que podría considerarse como una sobredosis, con la finalidad de mantener una alta productividad. En Costa Rica, el nitrógeno constituye el principal nutriente que se aplica en los cultivos bajo manejo intensivo. Se ha demostrado que los cultivos que favorecen la pérdida de nitratos hacia las aguas subterráneas son aquellos que tienen requerimientos altos de este nutriente, proporcionan altos rendimientos económicos y son relativamente ineficientes en la utilización de los fertilizantes nitrogenados. El cultivo del café y otros cultivos de exportación cumplen con todas estas condiciones.

Durante más de 150 años, el cultivo del café ha jugado un papel importante en el desarrollo económico y social de Costa Rica. Por esta razón, ha sido una actividad muy protegida por los gobiernos, donde los cálculos económicos no internalizan los costos de degradación del capital natural. Solamente en los últimos años, y como resultado de investigaciones científicas, se ha comenzado a aceptar la posibilidad de que un cultivo tan importante podría estar contribuyendo a la contaminación de las fuentes de agua de la población.

En la actualidad, la gran mayoría de las plantaciones de café en el Valle Central se manejan de manera intensiva, con altas densidades de siembra y aplicación de fertilizantes nitrogenados en cantidades mayores que las absorbidas por las plantas. El LHA ha comprobado que esta situación no solo da lugar a pérdidas significativas desde el punto de vista económico, sino que el nitrógeno no utilizado por la planta puede infiltrarse como nitrato hacia el subsuelo y potencialmente

amenazar la calidad de las aguas subterráneas utilizadas para consumo humano (Reynolds Vargas et al., 1994).

No obstante, es importante tener en cuenta que los patrones de uso del suelo en el Valle Central se han modificado de manera importante en los últimos 15 años, lo que es posible que tenga repercusiones significativas sobre la calidad del agua subterránea, como se discutirá más adelante.

Investigación de los procesos de contaminación de las aguas subterráneas por nitratos

Los acuíferos del Valle Central de Costa Rica son considerados vulnerables a la contaminación, debido a que poseen las condiciones que permiten el ingreso de sustancias químicas para la salud: sobre ellos se desarrollan actividades humanas cada vez más complejas, que liberan desechos líquidos de diversa composición, poseen suelos muy permeables y un sustrato rocoso constituido por material volcánico altamente fracturado. Además de esto, la alta precipitación sobre la zona casi siempre excede la evapotranspiración, lo cual favorece el movimiento de agua a través del suelo y con ello el arrastre de compuestos químicos solubles en agua.

Por otra parte, no solamente es importante identificar los tipos y concentraciones de sustancias químicas que se encuentran en las aguas en un momento dado. Es indispensable también detectar variaciones de estas sustancias a lo largo del tiempo, con el objetivo de poder dar alertas tempranas de cambios en la calidad del agua subterránea y poder establecer formas de protección del recurso. Por esta razón, el LHA ha realizado, desde el año 1990, una vigilancia permanente del nitrato en una red de 20 pozos y manantiales que se muestrean periódicamente, cuatro veces al año.

El nitrato es una sustancia relativamente común en las aguas subterráneas en todo el mundo, derivado en general

de la lixiviación de fertilizantes nitrogenados y de tanques sépticos, en especial en áreas de mediana o alta densidad poblacional. Las autoridades de salud recomiendan que las concentraciones no excedan los 10 mg/L de $\text{NO}_3\text{-N}$ (nitrato como nitrógeno), lo que es equivalente a 45 mg/L como $\text{NO}_3\text{-}$ (nitrato). Sin embargo, la importancia del nitrato no solamente radica en que puede tener un impacto negativo sobre la salud humana, sino también en que sirve como indicador indirecto de que otras sustancias químicas derivadas de las actividades humanas, y tanto o más nocivas para la salud, pueden estar llegando a las aguas subterráneas.

El nitrato es altamente soluble en agua y se lixivia con facilidad a través de los suelos. Siendo el nitrato un anión, puede, en ciertas condiciones, ser retenido por las partículas de suelo (Reynolds Vargas y Richter, 1994), proceso que se conoce como adsorción. Sin embargo, la habilidad de los suelos volcánicos para retardar el proceso de lixiviación de los nitratos depende de propiedades muy variables, por lo cual su eficacia como un mecanismo protector de las aguas subterráneas probablemente sea muy limitada. Por otra parte, la baja velocidad de la migración de nitratos a través del suelo confirma la hipótesis de que el tránsito de esta sustancia es sumamente lento, por lo que las consecuencias de la contaminación actual solo se estarán detectando dentro de muchos años.

Los resultados del monitoreo a largo plazo de las concentraciones de nitratos, analizados desde 1988 hasta el 2004, muestran una tendencia creciente en las concentraciones de nitratos en cinco de los 20 pozos (Reynolds Vargas et al., 2006). De mantenerse así la tendencia, se proyecta que en un período entre 10 y 40 años se excederán las concentraciones máximas recomendadas por las autoridades en salud (Reynolds Vargas et al., 2006). Por otra parte, las concentraciones en áreas relativamente libres de contaminación en general no superaron los 0,5 mg/L de $\text{NO}_3\text{-N}$ (Reynolds Vargas y

Richter, 1994), por lo que se considera que el nivel de fondo o concentración base es de menos de 1,0 mg/L de $\text{NO}_3\text{-N}$. Generalmente, se asume que concentraciones superiores a 3 mg/L de $\text{NO}_3\text{-N}$ (o 13,3 mg/L como NO_3) son resultado de actividades humanas que están contaminando las aguas. En las aguas de precipitación, las concentraciones se encuentran por debajo del nivel de detección.

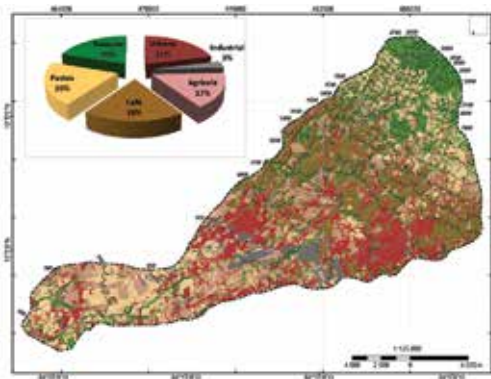
Los datos sugieren que está ocurriendo un lento proceso de contaminación de las aguas subterráneas en el Valle Central, lo que indica que deben ejecutarse, cuanto antes, las acciones para remediar el problema. Es evidente, pues, que el manejo inadecuado de los desechos humanos y de los fertilizantes nitrogenados está teniendo un impacto negativo sobre las aguas de consumo humano y que los procesos de sustitución de suelos agrícolas por urbanizaciones sin sistemas de saneamiento adecuados pueden causar un incremento significativo de la carga contaminante de nitratos. Asimismo, el tratamiento de las aguas para eliminar el nitrato requiere tecnología sofisticada y tiene un costo relativamente alto, aun en países desarrollados, por lo que no constituye una solución al problema.

Zonas urbanas como fuentes de contaminación de las aguas subterráneas

Desde los años 90, el LHA ha venido estudiando cómo se ha desarrollado el cambio en el uso del suelo sobre el acuífero Barva y, además, cómo ese cambio se relaciona con la calidad del agua subterránea. Por ejemplo, se encontró que para finales de los años 90 y principios del 2000, las partes altas de las subcuencas, entre los 1600 y 3000 msnm, se caracterizaban por presentar zonas boscosas en las proximidades del volcán Barva, así como también sectores dedicados a

la agricultura y a los pastos. Hasta hace dos décadas, la zona media, entre los 1000 y 1600 msnm, estaba cubierta principalmente por cultivos de café y las áreas urbanas se ubicaban en las partes más llanas, a elevaciones entre los 800 y 1000 msnm (Reynolds Vargas y Richter, 1994). Este patrón de uso del suelo ha venido cambiando en los últimos años, observándose un intenso desarrollo urbanístico en las partes media y baja de las subcuencas. Para el 2008, el cambio del uso de suelo agrícola y cafetalero al uso urbano se tradujo en una disminución de la frontera agrícola de los 1000 a 1200 msnm (Figura 3).

Figura 3



Fuente: PRAGAM, 2010.

Usos del suelo sobre el acuífero Barva para el 2008

En general, durante las dos últimas décadas, el cultivo del café en el Valle Central ha venido siendo desplazado, de manera lenta pero irreversible, por zonas urbanas donde se desarrollan otras actividades económicamente más rentables. Sin embargo, esta sustitución de actividades no está contribuyendo a mejorar la situación. Aun cuando es probable

que los fertilizantes nitrogenados sean los principales causantes de la contaminación con nitratos de las aguas subterráneas, especialmente en las zonas bajo cultivo intensivo, resultados preliminares de una investigación en marcha del LHA sugieren que concentraciones altas de nitratos también están asociadas en gran medida con las zonas urbanas de densidades media y alta.

En la Gran Área Metropolitana solamente alrededor de un 25% de la población está conectado a una red de alcantarillado sanitario, el resto de la población utiliza tanques sépticos para la disposición de sus desechos, lo que hace que exista una alta cantidad de fuentes puntuales potenciales de contaminación que pueden tener un impacto significativo en la calidad del agua de consumo humano.

Determinación de zonas de recarga del acuífero Barva

Para proteger un acuífero es indispensable identificar, con la mayor precisión posible, dónde se encuentran sus zonas de recarga y conocer los procesos hidrológicos e hidrogeológicos que ocurren. Con esta finalidad, el LHA analizó la composición isotópica (oxígeno-18 y deuterio) de las aguas subterráneas del acuífero y de la precipitación en la zona. Se tomaron muestras de pozos (38 puntos), manantiales (14 puntos) y precipitación (12 estaciones) durante al menos 12 meses en el transcurso del período comprendido entre enero de 2002 y octubre de 2004 (Reynolds Vargas y Fraile, 2009).

Los resultados de este estudio confirman que existen complejas relaciones hidrogeológicas y climáticas en la zona de estudio, determinadas principalmente por la variedad en las cualidades y espesores de los materiales volcánicos y de las interacciones entre los sistemas de vientos predominantes en la región que drena al Pacífico y la zona que drena al Caribe de la Cordillera Volcánica Central. Estas relaciones han

sido puestas en evidencia gracias al análisis de las variaciones isotópicas en la precipitación y las aguas subterráneas en la zona de estudio y señalan que tanto el acuífero Barva como el acuífero Colima Superior son, además, altamente vulnerables a la contaminación.

Se concluyó que la recarga del acuífero Barva es local y derivada de la precipitación de origen Pacífico en sus partes central y noroeste. Una parte de la recarga ocurre en las tierras altas ubicadas en las partes noreste y sur de la zona, donde también se recarga el acuífero Colima Superior, semiconfinado. En esta zona se da una influencia importante de la precipitación proveniente del Caribe.

Además, se encontraron procesos intensos de reciclaje de humedad por evapotranspiración y reevaporación de la humedad interceptada por la vegetación en la parte alta del acuífero, en las cercanías del volcán, lo que a su vez señala la necesidad de preservar la zona boscosa en esa región. Por último, se hizo evidente que los ríos en las partes media y baja de la cuenca del río Virilla son un componente significativo de la recarga del acuífero Barva. Lamentablemente, estos cauces de agua están muy contaminados, debido a que son utilizados para depositar desechos líquidos y sólidos de todo tipo. Este hecho tiene implicaciones importantes, sobre todo en el Valle Central, donde la población es dependiente de las aguas del subsuelo y donde se hace necesario garantizar la sostenibilidad del uso del recurso. La puesta en práctica de medidas más adecuadas de manejo de desechos y de protección de aguas superficiales y subterráneas es urgente.

Metales pesados en zonas críticas sobre el acuífero Barva

El crecimiento urbanístico e industrial que se produjo en las últimas décadas en las comunidades que se localizan sobre el acuífero Barva ha significado un aumento en las

actividades industriales ligadas al uso o desecho de metales pesados durante sus procesos de producción, así como en la cantidad de desechos potencialmente tóxicos, como baterías y aparatos electrónicos, depositados en rellenos de basura y botaderos. En algunas ocasiones, el derrame de estas sustancias químicas o lixiviados podría significar un riesgo para la calidad del agua subterránea y superficial, debido al arrastre de efluentes que pueden incorporarse a las aguas superficiales y/o infiltrarse hasta el acuífero.

Por su parte, los metales pesados, como el mercurio, cromo, cadmio, arsénico y plomo, pueden ingresar al agua subterránea y contaminar su fuente de abastecimiento, sin ser percibidos fácilmente. Un ejemplo de esta situación fue señalado por *La Nación* del 26 de junio del 2007, p-4A: "Belemitas tomaron agua contaminada con cromo". Esto puso en evidencia la vulnerabilidad del acuífero y sugiere que se deben analizar aquellos sitios donde haya actividades que podrían provocar una afectación a la calidad de agua del acuífero Barva y, por ende, de las fuentes de abastecimiento de agua potable.

Debido a estas razones, el LHA y la Escuela de Química de la UNA se encuentran evaluando la presencia o ausencia de metales pesados en zonas críticas sobre el acuífero Barva. Estas zonas críticas se localizan aguas abajo de zonas industriales (Figura 3) o industrias que reportan, en sus procesos, el uso de metales pesados. Esto servirá para establecer una línea base que brindará información fundamental sobre el estado del agua subterránea en cuanto a las concentraciones actuales de estos metales. Además, se entregará a las instituciones gestoras del agua lo siguiente: el mapa de concentración de metales pesados, una descripción del tipo de actividades industriales y agrícolas en las zonas críticas estudiadas y las recomendaciones para una mejor gestión del agua subterránea en estas zonas.

Diseño e implementación de herramientas de protección para la calidad del agua en las subcuencas de los ríos Bermúdez, Segundo y Ciruelas

Tal como ocurre en la mayor parte del territorio de la Gran Área Metropolitana, los diez cantones ubicados dentro de las subcuencas de los ríos Bermúdez, Segundo y Ciruelas (Figura 4) son altamente dependientes de las aguas subterráneas de la zona, en particular de los acuíferos Barva y Colima. Por su parte, estas tres subcuencas han experimentado, en las últimas décadas, cambios en el uso del suelo que pueden afectar la calidad del agua subterránea.

Uso del suelo y fuentes potenciales de contaminación puntual. Mediante una comparación de los usos del suelo entre los años 1975, 1988, 1996, 2001 y 2005, el LHA encontró que la cobertura urbana en estas subcuencas se ha duplicado a expensas de la zona agrícola, principalmente cafetalera y, en menor proporción de la zona de bosque.

Además, se ha recopilado información sobre las actividades desarrolladas sobre el acuífero Barva, a través de patentes otorgadas por las municipalidades y permisos de funcionamiento del Ministerio de Salud. Con esta información, se seleccionaron las fuentes potenciales de contaminación y se clasificaron con base en los códigos de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) todas las actividades económicas.

Se estimó que las actividades relacionadas con el transporte, como talleres mecánicos, lubricentros y gasolineras, conforman alrededor de un tercio del total de actividades potencialmente contaminantes al agua subterránea sobre las tres subcuencas, mientras que las actividades industriales conforman el otro tercio. El crecimiento de la industria, con un manejo poco controlado de los desechos que produce, ejerce otra presión importante sobre el acuífero. De hecho, el LHA

ha detectado la presencia de otros contaminantes, como los derivados de solventes clorados (Reynolds Vargas, datos inéditos), que resultan mucho más perjudiciales para la salud humana que los nitratos.

Diseño de perímetros de protección. En estas subcuencas, el LHA definió los perímetros de protección de algunos pozos y manantiales importantes para el abastecimiento público. Los diferentes métodos para calcular el perímetro de protección de una fuente de abastecimiento han sido utilizados como herramienta para definir aquella zona en la que se deben regular las actividades contaminantes de la fuente de abastecimiento.

El LHA ha definido los perímetros de protección a unos 25 pozos y 15 manantiales. Los sitios seleccionados debieron contar con la suficiente información hidrogeológica para poder realizar el cálculo. Paralelamente, se realizó una investigación sobre los métodos existentes para el cálculo de los perímetros de protección en pozos y se escogieron tres métodos: Radio Fijo Calculado, Flujo Combinado y Wyssling. El uso de cada uno de ellos está en función de la información hidrogeológica que se tenga de cada sitio y de las características del acuífero. Para el diseño de los perímetros de los manantiales se utilizó el método basado en la ecuación de Darcy, por cuanto el espesor del acuífero es requerido en los otros métodos.

Redes de monitoreo para la calidad. La dependencia de la población de las subcuencas de los ríos Bermúdez, Segundo y Ciruelas del agua de los acuíferos Barva y Colima es absoluta. Este hecho, aunado a la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, exige una vigilancia sistemática de las concentraciones de nitratos, y debido a que las tendencias encontradas evidencian la posibilidad de que otros contaminantes estén también llegando a las aguas subterráneas, también se hace inminente la vigilancia de otros parámetros indicadores de contaminación.

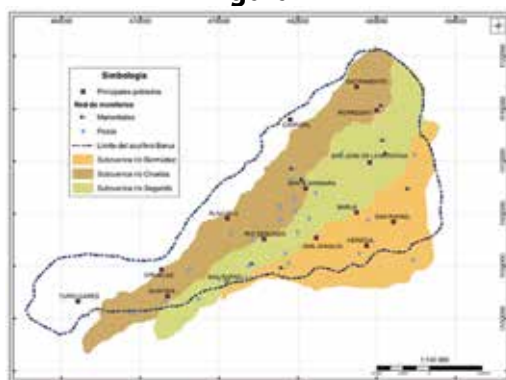
Aun cuando en las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADAS) o acueductos municipales se analicen, ya sea por iniciativa propia o a través del Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), algunos parámetros de forma esporádica, esto solamente brinda información acerca de la aptitud del agua para consumo en ese momento, pero no ofrece ninguna guía acerca de si existe o no una tendencia hacia el aumento del nitrato en el agua subterránea, tampoco brinda información sobre alguna pluma de contaminación antes de que el agua se capte por este punto. Por el contrario, el monitoreo defensivo, tal como lo establece el Banco Mundial, tiene como objetivo vigilar la calidad del agua en torno a las fuentes de abastecimiento, con el fin de proporcionar el aviso oportuno de una fuente de contaminación antes de que esta sea distribuida a la población.

Por lo tanto, los principales objetivos de una estrategia de monitoreo de aguas subterráneas incluyen (Foster et al., 2002): a) proveer datos representativos sobre el estado natural y las tendencias del sistema hidrogeológico con fines de planeación, manejo y toma de decisiones sobre la protección y conservación de las aguas subterráneas; b) disponer de datos precisos y confiables para ayudar a identificar la existencia de fuentes puntuales y difusas de contaminación y; c) generar datos para estudiar los cambios en el espacio y en el tiempo en la calidad de los sistemas hidrogeológicos debido a procesos naturales.

Desde el 2006, el LHA se propuso contribuir al desarrollo de herramientas que permitan mejorar el manejo de las aguas subterráneas en tres subcuencas ubicadas al noroeste del Valle Central. Una de estas herramientas fue el diseño de una red de monitoreo de pozos y manantiales para la evaluación de la calidad física y química del agua en cada subcuenca

(Figura 4). Además, el LHA inició un proceso de capacitación y acompañamiento para la implementación de estas redes por parte de los gobiernos locales, ASADAS y otras entidades, con el fin de fomentar la participación ciudadana en los procesos de control y protección del agua subterránea.

Figura 4



Fuente: Propia.

Redes de monitoreo diseñadas por el LHA para la calidad físicoquímica del agua subterránea de cada subcuenca

Cada red de monitoreo diseñada durante este proyecto consta de 9 a 12 sitios que extraen agua exclusivamente del acuífero Barva y del acuífero Colima Superior, para ser muestreados al menos tres veces por año: época lluviosa, época seca y período de transición. Esto por cuanto las organizaciones internacionales recomiendan una frecuencia de muestreo de al menos cuatro veces al año para el funcionamiento de redes de monitoreo en acuíferos vulnerables (Foster et al., 2002). Entre el grupo básico de parámetros se encuentran los iones mayoritarios: Na^+ , K^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ , Cl^- , SO_{42}^- , HCO_3^- . Además, en este grupo básico se incluyen el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura. Por su parte, el LHA recomienda realizar

análisis de metales pesados, residuos de plaguicidas, derivados de hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles al menos dos veces por año.

Para que la gestión integrada del recurso hídrico sea exitosa, es de vital importancia la participación ciudadana en la implementación de medidas de control y manejo, como las redes de monitoreo, ya sean locales o regionales. Además, la información generada a través de estas redes, por ejemplo, podría servir como herramienta para el diseño de políticas de control y protección del agua subterránea.

Participación ciudadana. La constitución de cada red de monitoreo se dio a conocer a las comunidades por medio de reuniones, seminarios-talleres, giras conjuntas y material de divulgación impreso. Durante los seminarios-talleres se invitó a representantes de gobiernos locales, ASADAS, Asociaciones de Desarrollo, Comisión Interinstitucional de Microcuencas de Heredia, Federación de Municipalidades, Ministerio de Salud, ESPH, AyA y SENARA, entre otros. Además, para cada cuenca, se conformó una comisión de seis personas. Cada comisión fue capacitada en el funcionamiento de la red de monitoreo a través de reuniones y giras de muestreo. Asimismo, el LHA brindó la metodología en forma de manual, incluyendo la ubicación de los sitios de muestreo, los contactos de los propietarios de estos sitios y la descripción de las condiciones. También, el LHA realizó los análisis físicoquímicos generales de las muestras que se recolectaron durante estas campañas de muestreo.

Sin embargo, el siguiente paso para asegurar el sostenimiento del monitoreo de forma sistemática y permanente ha sido el más difícil de superar y consiste en la obtención de financiamiento para realizar el análisis de los parámetros recomendados. Para ello, se ha hecho evidente que una vinculación fuerte entre la comisión encargada del funcionamiento de la red de monitoreo, los entes públicos y privados administradores de agua y las instituciones encargadas del

manejo y protección del recurso hídrico, es imprescindible. Es decir, existe una oportunidad de vinculación entre entidades como gobiernos locales, federaciones de municipalidades, ASADAS, AyA, ESPH, Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Ministerio de Agricultura (MAG), Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), Ministerio de Salud, SENARA y Comités de Vigilancia de los Recursos Naturales (COVIRENAS), a través de las actividades de la red de monitoreo. Asimismo, existen otras limitantes importantes que podrían ser subsanadas por medio del apoyo interinstitucional a la comisión conformada para el funcionamiento de esta red.

Durante este proyecto se ha podido constatar que las ASADAS son los actores más interesados en el diseño e implementación de redes de monitoreo, debido, principalmente, a que son administradores de agua de la mayoría de los acueductos sobre el acuífero y a que son actores que viven sobre la subcuenca y, por lo tanto, poseen un sentido de pertenencia del recurso. Además, las ASADAS están ávidas de herramientas ejecutables de protección. También se concluyó que para que un grupo de actores como las ASADAS pueda implementar una red de monitoreo, es importante que exista un proceso de unificación formal, ya sea en forma de federaciones o de uniones de ASADAS. Esto serviría de base para la ejecución de proyectos encaminados a la implementación de medidas de protección con un alto grado de participación ciudadana, necesaria en la gestión integrada del recurso hídrico.

Aunque aún no existe ninguna unión de este tipo sobre el acuífero Barva, actualmente hay mucho interés por parte de algunas de las ASADAS de Heredia y Alajuela por asociarse entre sí para conformar una unión. Una vez que esto se logre, se podrán desarrollar, de una forma más organizada y efectiva, los objetivos de las redes de monitoreo. Para iniciar con este trabajo conjunto, se desarrollaron, durante varios talleres, los lineamientos de trabajo en conjunto con las fuerzas vivas

de las comunidades, representadas por las ASADAS y las federaciones de municipalidades.

Durante estas actividades se contó con la participación de 31 representantes de las ASADAS y de la Federación de Municipalidades de Alajuela. Se discutió la importancia de contar con una red de monitoreo para la calidad del agua subterránea de cada subcuenca y se mostraron los resultados más relevantes del proyecto. Además, se concluyó que se requieren de mayores esfuerzos por parte de las mismas ASADAS, gobiernos locales, ministerios y otras instituciones rectoras del recurso hídrico para fortalecer el compromiso y la cogestión.

Finalmente, este proyecto ha servido para crear conciencia entre las ASADAS y otros entes públicos y privados administradores de agua para consumo en varios cantones de Heredia y Alajuela sobre la necesidad del trabajo en conjunto para desarrollar objetivos o proyectos afines a la protección y gestión del recurso hídrico. Además, se ha logrado enfatizar en las autoridades municipales acerca de la importancia de establecer controles sobre el uso del suelo, con el objetivo de proteger los acuíferos y vigilar la calidad de las aguas de consumo humano que provienen en su mayor parte de fuentes subterráneas en las subcuencas de los ríos Bermúdez, Ciruelas y Segundo.

Plan de Seguridad del Agua en la ASADA de San José de la Montaña

Otra herramienta para la gestión integrada del recurso hídrico son los Planes de Seguridad del Agua (PSA), los cuales se definen como “un instrumento de identificación y priorización de peligros y riesgos en sistemas de abastecimiento de agua, desde la cuenca de captación hasta el tubo del consumidor, con el objetivo de establecer medidas de control para reducirlos o eliminarlos; alientan también los procesos

para la verificación de la eficacia y eficiencia de la gestión de los sistemas y el control de la calidad del agua” (OMS, 2004; Bartram et al., 2009). Esta herramienta ha sido promovida por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y nace a partir de la meta 10 del objetivo relacionado con garantizar la sostenibilidad ambiental de los objetivos de desarrollo del milenio de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En América Latina y el Caribe, por medio de la Red de Planes de Seguridad del Agua (RED-PSA/LAC) y de la OMS, se propuso para el año 2015 lograr una cobertura de agua potable del 85% (OMS, 2004; WHO & UNICEF, 2006). Por lo tanto, el establecimiento de los Planes de Seguridad del Agua en los diferentes sistemas de abastecimiento del país permitirá el aumento de la cobertura de agua de calidad potable.

Es por esta razón que el LHA se encuentra participando en la elaboración del Plan de Seguridad del Agua en el acueducto de San José de la Montaña. Dicho plan ya es reconocido por el AyA en su Programa Bandera Blanca. En junio del 2012, el AyA le otorgó al acueducto de San José de la Montaña el máximo galardón de bandera blanca, sello de calidad de siete estrellas, por haber conformado el comité de seguridad del agua comunal y hacer los esfuerzos para implementar el Plan de Seguridad del Agua. El LHA forma actualmente parte de este comité de seguridad y complementa información a la ASADA en el PSA. Uno de los puntos principales en la implementación del PSA es la identificación de riesgos. Para el acueducto de San José de la Montaña uno de los principales riesgos identificados es el vertido de aguas residuales ordinarias sin previo tratamiento, lo cual puede aumentar las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas en una zona geográfica que comprende importantes áreas de recarga del acuífero Barva.

Mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica del cantón de Barva

El concepto de vulnerabilidad se remonta desde la década de los 70. Luego su uso fue ampliamente utilizado en la década de los 80. De tal manera que la vulnerabilidad a la contaminación está en función de la capacidad de atenuación de la zona no saturada para retener los contaminantes. Por lo tanto, los mapas de vulnerabilidad constituyen una herramienta para controlar o restringir actividades que se pueden desarrollar sobre un acuífero, dependiendo del grado de vulnerabilidad en un sitio particular. Entre las metodologías existentes, el método GOD (Grado de confinamiento hidráulico del acuífero, Ocurrencia del sustrato suprayacente en términos de características litológicas y Distancia al agua) ha sido ampliamente utilizado en América Latina y en especial en Costa Rica, debido a la facilidad de aplicación. Este método considera dos factores básicos (Foster et al., 2002): el grado de inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada y la capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada.

Atendiendo a lo establecido en el Voto de la Sala Constitucional, No. 12109-2008, el cual establece la obligatoriedad por parte de los municipios de elaborar el Mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica con base en el método GOD, la Municipalidad de Barva le solicitó al LHA la elaboración de dicho mapa. Los valores obtenidos por el LHA para caracterizar la vulnerabilidad del acuífero Barva dentro de los límites del cantón se encuentran en proceso de revisión por parte del SENARA, institución encargada de la aprobación de este estudio. Una vez aprobado el Mapa, este debe ser integrado en la propuesta del Plan Regulador elaborado por cada municipio.

Evaluación de acuíferos en el Litoral Pacífico

En la actualidad, se ha demostrado que existe un deterioro en la calidad subterránea en algunas zonas costeras del país, tanto en aspectos bacteriológicos como fisicoquímicos. La utilización de agua se intensifica en zonas costeras con un gran desarrollo turístico. En regiones con una época seca prolongada, se puede observar una disminución considerable de los caudales superficiales y probablemente de los niveles de agua subterránea, situación que coincide con la temporada alta de turismo. Debido al ritmo de extracción al que están sometidos los acuíferos en estas zonas, se podría presentar una reducción en la disponibilidad de agua y/o problemas de intrusión salina, la cual consiste en un movimiento temporal o permanente de agua salada tierra adentro que desplaza al agua dulce, provocado por una explotación a un ritmo mayor al de la recarga natural por agua de lluvia.

En el 2000, el LHA evaluó la influencia de las actividades humanas sobre el agua subterránea en la zona costera de Guanacaste, específicamente en las localidades de Brasilito, Flamingo y Potrero. En el Pacífico Sur, este estudio se llevó a cabo en la zona de Puerto Jiménez y localidades aledañas. Entre los resultados más relevantes se destaca la presencia de un proceso incipiente de intrusión salina en el acuífero de Brasilito, probablemente favorecido por la extracción no controlada del agua, así como por la construcción de pozos en sitios muy cercanos al mar (Calderón et al., 2002). Además, la mayor parte de los pozos muestreados tanto en el Pacífico Norte como en el Sur resultaron positivos cuando se evaluó la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal. Asimismo, se encontraron en algunos pozos de ambas regiones altas concentraciones de nitratos, superiores a los valores admisibles por las organizaciones nacionales e internacionales de la salud (Calderón y Madrigal, 2002).

Los procesos que causan este tipo de contaminación se ven favorecidos por la alta porosidad del suelo, la poca profundidad del nivel freático (nivel al que se encuentra el agua subterránea) y la recarga local, sumado al uso de letrinas y tanques sépticos. El agua subterránea en estas zonas está siendo afectada por la falta de seguimiento de las recomendaciones técnicas y por un control ineficiente por parte de las instituciones estatales. La construcción de sistemas adecuados de tratamiento de aguas servidas se ve limitada. Se dieron recomendaciones para un manejo adecuado y el establecimiento de medidas para la protección del recurso hídrico en esta zona.

En el Pacífico Central, el LHA se propuso estudiar el fenómeno de intrusión salina y contaminación por aguas servidas en el acuífero de Jacó durante el 2001. Los datos evidenciaron un proceso inminente de intrusión salina, lo cual coincide con lo encontrado por el SENARA, en colaboración con el AyA y la Escuela Centroamericana de Geología, durante una evaluación sobre la intrusión salina en el acuífero entre 1995 y 1997 (Arias y Morera, 2000). Debido al impacto que tiene sobre la salud pública la contaminación de las aguas subterráneas, es necesario que después de más de una década se reevalúen las condiciones del acuífero ante un avance potencial del proceso de intrusión salina y contaminación por aguas negras, y además, que se evalúe por primera vez, la influencia de un relleno sanitario construido durante el 2006.

Por esta razón, a partir del 2012, el LHA evalúa la influencia de las actividades humanas sobre el acuífero costero de Playa Jacó para elaborar un mapa de zonificación del acuífero que sirva de apoyo para el ordenamiento territorial. Además, desarrollará dos de los tres componentes principales del Plan de Seguridad del Agua para el acueducto administrado por el AyA. La evaluación del acuífero es fundamental para el establecimiento de un plan de ordenamiento territorial que tome en cuenta la vulnerabilidad y riesgo de contaminación

del acuífero, así como para fijar políticas de expansión territorial provocando el mínimo de afectación al recurso hídrico, en especial, al subterráneo.

Conclusiones

La falta de planificación que ha acompañado al cambio de uso del suelo en Costa Rica ha convertido la gestión del agua en un proceso difícil y complejo de manejarse en las institucionales y municipalidades. De hecho, durante muchas décadas, la población en general ha desconocido la importancia de los acuíferos, así como los riesgos de contaminación que los amenazan. No ha sido sino hasta los últimos años cuando la población ha comenzado a tomar conciencia de que los cuerpos de agua subterránea son vulnerables.

A pesar de esto, todavía en una gran parte del país existen una inadecuada disposición y un tratamiento insuficiente de los desechos potencialmente contaminantes tanto líquidos como sólidos. Esto pone en riesgo la calidad del agua subterránea. Por un lado, la contaminación potencial del acuífero por la lixiviación de sustancias provenientes de tanques sépticos puede favorecer la diseminación de enfermedades causadas por organismos patógenos. Otra consecuencia es la contaminación de las fuentes de agua subterránea con sustancias químicas, como los nitratos.

Asimismo, la aplicación de plaguicidas y fertilizantes en la agricultura es una práctica generalizada en esta región, por lo que la lixiviación de estas sustancias representa también un alto riesgo para la salud pública. El mayor reto para la agricultura en los próximos años será el control de sus efectos sobre las fuentes de agua. Por esta razón, el mejoramiento de las prácticas de manejo de los fertilizantes debe constituir una prioridad en los próximos años, y los agricultores de Costa

Rica deben prepararse para enfrentar el reto de alcanzar dos objetivos de manera conjunta: obtener una alta productividad en los cultivos y mantener una calidad de agua aceptable para consumo humano.

Por otra parte, algunas de las zonas industriales e industrias ubicadas sobre acuíferos importantes en nuestro país podrían estar causando infiltración de efluentes con metales pesados hacia el agua subterránea. Sin embargo, se debe enfatizar que no son necesariamente las industrias más grandes y sofisticadas las que presentan la máxima carga contaminante al subsuelo y el más alto riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Esto depende de una vigilancia adecuada sobre el manipuleo de químicos y efluentes, y de si las prácticas para su disposición se controlan y monitorean con cuidado.

De igual o mayor preocupación son las pequeñas empresas, ya que ellas están ampliamente diseminadas y, a menudo, usan cantidades considerables de contaminantes tóxicos.

Debido a que el agua subterránea es extensamente utilizada por la población costarricense y a que se ha comprobado la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación por lixiviación de sustancias potencialmente tóxicas, es urgente definir y poner en práctica mecanismos para su protección. Sin embargo, con frecuencia, ni las comunidades ni los gobiernos locales cuentan con herramientas adecuadas para realizar las acciones de protección necesarias.

Afortunadamente, ya se están realizando esfuerzos importantes para estudiar con cierto detalle los procesos que ocurren y los mecanismos de prevención y control para remediar la contaminación. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el éxito no solo depende de un mejor conocimiento científico, sino de la utilización de este conocimiento en la mejora de las estructuras de administración y manejo de los recursos hídricos subterráneos de una gestión integrada a través de las

comunidades e instituciones que tienen a cargo el mandato de control y protección del agua.

Es así como el establecimiento de estas redes de monitoreo ofrece una excelente oportunidad para la participación social en procesos de vigilancia de la calidad física y química del agua subterránea en forma sistemática y permanente y, además, brinda un espacio para concienciar sobre la importancia de implementar acciones por parte de los habitantes y usuarios para que contribuyan a un manejo racional y sostenible de las aguas subterráneas de la zona. Sin embargo, existe una debilidad en la legislación relacionada con la protección y control de las aguas superficiales y subterráneas en cuanto a la ejecución de redes de monitoreo para la calidad del agua superficial y subterránea, a pesar de que el monitoreo constituye una herramienta determinante en la generación de información para la toma de decisiones y definición de estrategias de protección de aguas subterráneas en los ámbitos local, regional y nacional.

Finalmente, a pesar de que en la actualidad el agua de los acuíferos del Valle Central no ha alcanzado niveles de contaminación dañinos para la salud humana, es evidente que la utilización del recurso no es sostenible. Continúa la falta de medidas para prevenir la contaminación, el agua subterránea de los acuíferos no podrá ser utilizada en el futuro. De ahí la importancia de que se establezcan programas de protección, y de que las personas valoren estas estrategias para la gestión integrada del recurso hídrico subterráneo. Esto por cuanto la mejor práctica es prevenir que este recurso se contamine, en vez de corregir o remediar, lo cual resulta altamente costoso. Incluso, dependiendo de sus características, existen acuíferos que, una vez contaminados no se pueden recuperar, sino hasta que transcurran varias décadas o siglos, cuando el sistema se depure por sí solo.

Recomendaciones

Para una gestión segura del recurso hídrico, es necesario que las instituciones públicas y las ONG's encargadas de su protección y manejo establezcan programas de capacitación dirigidos a las comunidades y gobiernos locales en temas de conocimientos básicos y de protección del agua subterránea. Paralelamente, se recomienda a estas instituciones crear o apoyar los mecanismos necesarios para fortalecer la participación ciudadana en los procesos de gestión integrada del recurso hídrico.

Además, se recomienda a los gobiernos locales describir y georreferenciar todas las actividades que se realizan en sus municipios para determinar con mayor precisión las fuentes potenciales de contaminación y su eventual carga contaminante. También se recomienda la clasificación de dichas actividades utilizando los códigos de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) de todas las actividades económicas.

Por otra parte, se recomienda la implementación de los Planes de Seguridad del Agua propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en las ASADAS y en la ESPH, ya que la mayoría de los acueductos no cuentan ni siquiera con la información básica sobre los pozos que administran. El recopilar y organizar la información básica sobre las captaciones y pozos de cada acueducto rural, a su vez, permitirá el cálculo de los perímetros de protección a los sitios de importancia para abastecimiento público.

Además, es preciso que las entidades encargadas de la administración de los recursos hídricos en cada cantón (ASADAS, municipalidades, asociaciones comunales) sean capaces de realizar o exigir evaluaciones periódicas de la calidad de las aguas subterráneas a través de indicadores de contaminación y redes de monitoreo establecidas para tal efecto. Esto les permitirá a los ciudadanos y las instituciones contar

con datos que sirvan como herramienta para la mejora de las medidas de protección de los acuíferos explotados.

En resumen, para que se logre una verdadera gestión integral del recurso hídrico resulta indispensable la participación social, pues supone abandonar la idea del gobierno como responsable absoluto de la satisfacción de las necesidades de la sociedad, reconociéndose en la población su rol de protagonista de su propio desarrollo. En esa línea, es preciso recomendar que la población cuente con el apoyo del Estado, instituciones, Defensoría de los Habitantes y ONG's para la participación activa en la solución de problemas ambientales. Es así como los diferentes actores sociales que se encuentran en la zona pueden participar de forma activa en las diferentes estrategias de protección, como lo son las redes de monitoreo y los Planes de Seguridad del Agua.

Referencias bibliográficas

- Arias, M. y Morera, S. (2000). Evaluación del acuífero de Jacó, cantón de Garabito, provincia de Puntarenas. Informe Final. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.
- Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A. y Stevens, M. (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.
- Calderón, H. y Madrigal, H. (2002). Capítulo 10: Efectos de la actividad turística sobre los recursos hídricos y desechos sólidos en las zonas de estudio. En: *Turismo a larga distancia y desarrollo regional en Costa Rica: estudios sobre las relaciones económico-ecológicas entre turismo y desarrollo sostenible en los ámbitos globales, nacionales y microrregionales*. E. Furst y H. Wolfgang (editores.) San José, Costa Rica: Editorial EcuMénica de Investigación.
- Calderón, H., Madrigal, H. y Reynolds Vargas, J. (2002). Contaminación química y microbiológica del agua subterránea en la zona costera de Guanacaste. En: *Manejo integrado de aguas subterráneas: un reto para el futuro*. J. Reynolds (editora). San José, Costa Rica: EUNED.
- Foster, S., Hirata, D., Gomes, M., D'Elia and M. Paris, (2002). Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies. Banco Mundial. Washington, D.C.
- OMS - World Health Organization. (2004). Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. Hechos y

- cifras. Recuperado de: www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/index.html.
- PRUGAM. (2010). Cartografía 1: 10.000, uso de la tierra, gran área metropolitana. Proyecto de actualización cartografía de usos de la tierra a escala 1:10.000 GAM de Costa Rica. Elaboración de cartográfica digital y ortofotos.
- Reynolds, J. (1992). Contaminación por nitratos en las aguas subterráneas de la cuenca del río Virilla. En: Primer Simposio Nacional sobre Plaguicidas: Problemática y Soluciones. San José, Costa Rica, octubre, 1992.
- Reynolds, J., Araguás, L., Fraile, J., Castro, L. and Rozanski, K. (1993). Nitrate transport in the unsaturated zone under tropical climatic conditions. In: Memorias del Simposio Isotopic Tracers in the Hydrologic Cycle, Polonia.
- Reynolds, J., Fraile, J. and Hirata, R. (2006). Trends in nitrate concentrations and determination of its origin using stable isotopes (^{18}O and ^2H) in groundwater of the western Central Valley, Costa Rica. *Ambio*, 35 (5): 229-236.
- Reynolds, J. and Richter, D. (1994). Nitrate in groundwaters of the Central Valley, Costa Rica. *Environment International*, 21: 71-79.
- Reynolds Vargas, J., Richter, D.D. and Bornemisza, E. (1994). Environmental impacts of nitrification and nitrate adsorption in fertilized Andisols in the Valle Central of Costa Rica. *Soil Science*, 157: 289-299.
- Reynolds, J. y Fraile, J. (2009). Utilización de isótopos estables en la precipitación para determinar zonas de recarga del acuífero Barva, Costa Rica. En: Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena. IAEA-ECD0C 1611. Pp. 83-95.

World Health Organization & UNICEF. (2006). Meeting the MDG drinking water and sanitation target: the urban and rural challenge of the decade, Geneva.

CAPÍTULO 6

Gestión de cuencas en la UNA: Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica Morote, Guanacaste

Dr. Carlos Cruz Chaves

Introducción

La problemática socioambiental que se ha generado por la carencia de agua y de voluntad política para las tomas de decisiones en torno al uso y manejo del recurso hídrico continúa profundizándose en los ámbitos local y global. Según Spiller (2008:4) de la Fundación Heinrich Böll: “El 18 por ciento de la población mundial no tiene acceso al agua potable y el 40 por ciento no tiene acceso al saneamiento”. En América Latina se manifiesta una contradicción entre la disponibilidad de agua y su acceso, lo que ha generado movimientos por el agua que han desencadenado la movilización popular –el caso de Sardinal de Carrillo, Guanacaste– y enfrentamientos armados por el derecho humano al agua en Cochabamba, Bolivia.

El XIV Informe del Estado de la Nación (2008: 33, 59) señala que “Costa Rica ha llegado a una situación límite en materia de gestión ambiental...”, y en el apartado de Recursos hídricos informa que “...la razón entre demanda y oferta es baja para la mayoría de las cuencas...”, y que las cuencas presentan problemas de “...infraestructura, disponibilidad hídrica, conflictos por el uso, contaminación, aprovechamiento, riesgo de inundaciones y vulnerabilidad al cambio climático”. Además, “Los conflictos por la gestión del recurso hídrico responden a la falta de participación social y de estudios científico-técnicos previos, al uso inadecuado de fuentes y manantiales, así como a la afectación del entorno de las comunidades, la contaminación, la presencia de riesgos para la salud y el temor por la pérdida del recurso, tanto en cantidad como en calidad”. Y en el XV Informe Final del Estado de la Nación, Astorga (2009: 9,10, 20) menciona que la situación señalada anteriormente continúa agravándose, lo cual se puede constatar ya que una de las cuencas “...que presenta resultados críticos en disponibilidad de agua, dado que la demanda mensual de agua supera a la oferta en grandes cantidades es la cuenca Península de Nicoya, con un déficit en cinco meses del año, es de las más concesionadas en volumen de agua y al mismo tiempo, es de las cuencas más secas del país y la que muestra un acelerado crecimiento turístico con alta demanda de agua. La principal fuente de agua en esta zona son los acuíferos, en los cuales se continúa brindando permisos de extracción de agua, sin contar aún con estudios científico-técnicos precisos de balances hídricos”.

En la Península de Nicoya y en la vertiente del Golfo de Nicoya se ubica la cuenca hidrográfica Morote, que presenta la problemática y características descritas anteriormente, lo cual justifica la formulación e implementación de planes de manejo y gestión de los recursos naturales presentes en este sitio. Los conflictos por el recurso hídrico se han mantenido,

como se constata en lo señalado por los Informes del Estado de la Nación, además, estos se concentran principalmente en la costa del Pacífico Norte.

El manejo de cuencas hidrográficas requiere el estudio de los aspectos científicos y técnicos, así como de los factores socioeconómicos de las estructuras institucionales, el apoyo comunitario, los marcos legales y los instrumentos económicos que influyen en el uso que hacen los seres humanos de los recursos naturales. El agua constituye uno de los recursos naturales renovables más importantes para la vida. “La cuenca hidrográfica es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación fluye formando un curso principal de agua. ...es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o divisoria de aguas se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río” (Ramakrishna, 1997: 19).

La cuenca hidrográfica Morote se forma cuando la intensidad de la lluvia supera la tasa de infiltración del suelo, y por sus características topográficas y la cobertura del terreno, se produce el escurrimiento aguas abajo en forma de ríos, riachuelos y quebradas, dando origen a las subcuencas y microcuencas de esta. La cuenca integra el sistema hidrológico Morote, el cual forma parte de la cuenca del Golfo de Nicoya; esta última presenta una gran importancia ecológica, ya que es uno de los estuarios marinos más ricos en biodiversidad del Pacífico continental. Durante miles de años, los antiguos pobladores de Costa Rica han tenido presencia en el lugar, aprovechando su riqueza natural y forjando sus identidades culturales hasta nuestros días. La cuenca hidrográfica Morote ha sido un territorio que no escapa a esta dinámica natural y cultural. Dinámica que se ha gestado en la interacción de la cultura y la naturaleza, dando como resultado la fundación de asentamientos humanos caracterizados por su contexto

natural y sociocultural, que hoy podemos apreciar en comunidades con identidad cultural diferenciada y propia a la vez, como por ejemplo: Nicoya, Hojancha, La Mansión y el Territorio Indígena Chorotega, Matambú. Estas comunidades, en el ambiente natural compartido, han forjado su propia identidad y la forma de enfrentar y resolver los problemas relacionados con el recurso hídrico.

Las ciudades de Nicoya, Hojancha y otros asentamientos humanos menores aumentan desmedidamente y de forma perjudicial la cantidad de desechos sólidos y líquidos que son vertidos, en forma directa e indirecta, en los cuerpos de agua que componen la cuenca hidrográfica Morote. Esta unidad fisiográfica natural está constituida por un espacio en el cual las personas y los recursos naturales integran su territorio. En general existe una interacción entre el sistema natural, suelo, agua y bosque, y el sistema socioeconómico en ese espacio, que depende de la oferta, la calidad y la disposición de los recursos naturales, y puede limitar o promover el desarrollo, lo cual se subordina a la disponibilidad, la calidad, el uso y gestión del agua para la satisfacción de las necesidades de consumo humano, la agricultura de subsistencia, la ganadería, la agroindustria y el turismo.

Antecedentes

La cuenca hidrográfica Morote está siendo definida y estudiada a través de un trabajo académico, coordinado entre diferentes unidades académicas de la Universidad Nacional y conformado por varios equipos interdisciplinarios de investigación y extensión. A partir de 1999 inicié en la Sede Regional Chorotega, UNA, con los estudiantes del Centro de Estudios Generales de los cursos de Ecología Social, campañas de limpieza y de educación ambiental en las vías públicas y los ríos (seis) del casco urbano de Nicoya, y otras acciones a las que se sumaron voluntariamente algunos vecinos.

Ante la problemática ambiental descubierta durante el año 1999 y debido al entusiasmo logrado entre los estudiantes y miembros de la comunidad, se lograron fundar en enero del año 2000, como resultado de la interacción universidad-comunidad, la Asociación Ambientalista de la Península de Nicoya (ASOAPEN) y el Comité Ambientalista El Tucán, con los que se continúa la labor conservacionista en la ciudad de Nicoya. Informalmente, se inició una labor de coordinación entre la ASOAPEN, la UNA, el MINAE y el Ministerio de Salud para desarrollar acciones conjuntas tendientes a mitigar el impacto ambiental y el deterioro de la calidad de vida de la población que habita en la cuenca hidrográfica Morote. Es a partir del año 2003, como resultado de mi búsqueda de apoyo académico iniciada con un proyecto financiado por el Fondo de Desarrollo Regional, que se abrieron las posibilidades de continuar aunando esfuerzos e implementando acciones conforme a un plan de manejo y con la suficiente sensibilización para iniciar el proceso que representa la gestión integral de la cuenca del río Morote que, a su vez, es estratégica para la conservación del bosque, las zonas de recarga acuífera para la producción de agua, la conservación de la flora y la fauna, la producción de oxígeno y la belleza paisajística.

Aspectos generales de la cuenca hidrográfica Morote

La cuenca hidrográfica Morote se ubica de la Península de Nicoya, fluyendo sus aguas hacia el Golfo de Nicoya. Cuenta con dos ecosistemas: el boscoso y el marino-costero o de manglar. En cuanto a las zonas de vida, están presentes las siguientes: muy húmedo, húmedo premontano, húmedo tropical, húmedo tropical transición a seco.

Su localización geográfica se halla entre las coordenadas Lambert 228000 Norte y 386000 Oeste. Las divisorias de aguas se elevan desde los 200 hasta 850 msnm, predominando una amplia gama de elevaciones con pendientes del 30% al 45%. Asimismo, encontramos valles fluviales intermontanos con variaciones en la temperatura (24 y 34 °C) y la pluviosidad (1500 y 2500 mm al año), y una rica biodiversidad. Los climas estacionarios son: seco y lluvioso.

Figura 1



Fuente: MINAE-ACT, 2007.

Mapa de la cuenca hidrográfica Morote. Guanacaste

Administrativamente, la cuenca pertenece a los cantones de Nicoya, Hojancha y Nandayure, abarca ocho distritos y treinta comunidades.

En el área de influencia de la cuenca del río Morote se localizan las ciudades que concentran la mayoría de la población de los cantones de Nicoya y Hojancha, junto a veintiocho comunidades ubicadas a lo largo y ancho del área de su cobertura. El río principal, y del cual se origina el nombre de la cuenca Morote, pasa por las afueras del casco urbano de Nicoya, donde seis afluentes le depositan una cantidad no cuantificada de desechos sólidos y líquidos sin el mínimo

tratamiento. Asimismo, las nueve subcuencas y treinta y seis microcuencas que conforman la cuenca hidrográfica Morote están sometidas a un fuerte impacto ambiental por la existencia de basureros a cielo abierto, manejo inadecuado de desechos sólidos y líquidos, caza legal y furtiva, tala legal e ilegal del bosque, deforestación, tráfico ilegal de flora y fauna, a esto se le suma la erosión de los suelos, provocada por su remoción en las partes altas, que termina en sedimentación del cauce principal. Asimismo, cuando el río se llena en temporada de lluvias, arrastra una gran cantidad de desechos que son depositados por las mareas en el Golfo de Nicoya. Esta situación provoca contaminación y sedimentación en los ríos de la cuenca y en el Golfo, este último está siendo contaminado y, de esta manera, está desapareciendo su biodiversidad, la cual ha sido una de las más ricas del Pacífico continental.

La cuenca del río Morote, en la vertiente del Golfo de Nicoya, no es la excepción a esta mala práctica social. La cuenca, en su parte alta, ha tenido desde la década de 1980 una recuperación natural significativa del bosque. La ganadería, como actividad económica predominante, cedió lugar a otros sistemas de producción. Sin embargo, en la actualidad en La Mansión de Nicoya, las aguas del río Morote alcanzan su punto más alto de eutrofia. Según León et al. (2006: 7), los sólidos suspendidos provenientes de los diferentes vertidos a lo largo de la cuenca, las lluvias que aportan una multitud de sedimentos al río y la planta de tratamiento de aguas negras influyen directamente sobre la calidad de las aguas.

La planta de oxidación, ubicada en la ciudad de Nicoya, vierte sus aguas en este punto, y la turbidez del agua, debido a los sólidos suspendidos y las algas, caracteriza la biología del río en este lugar. La anoxia, debido a la demanda de oxígeno de las algas, hace que en este sitio exista apenas vida subacuática y, por lo tanto, no hay lugares de anidamiento ni cobijo para muchas especies de macroinvertebrados (León et al., 2006: 8).

La solución que se contempla es la gestión de cuencas, entendida como "...un conjunto de actividades ordenadas y planificadas que realiza el hombre en un territorio denominado cuenca hidrográfica, para lograr la sostenibilidad de los recursos naturales, considerando el agua como el recurso integrador y estratégico; para contribuir con el desarrollo socioeconómico y el mejoramiento de la calidad de las poblaciones rurales y urbanas" (CATIE, 2008: 25). Unida a la gestión de cuencas hidrográficas que incluye el manejo, existen diferentes modalidades y estilos de gestión: participativa, comunitaria, social, institucional y gestión conjunta o cogestión.

En el futuro, la explosión demográfica en la zona de influencia de la cuenca se convertirá en una amenaza, la cual se debe prever. El Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrológica Morote debe facilitar la propuesta de alternativas socioproductivas y de conservación, el manejo integral de la cuenca resolverá el problema de contaminación ambiental y del deterioro de la calidad de vida de la población. Con el Ordenamiento Espacial se pretende dar un uso y manejo sostenible a la cuenca del río Morote, ya que la proyección de crecimiento demográfico y económico de la cuenca nos hace pensar en la satisfacción de la demanda de agua y de otros recursos vitales para el desarrollo humano sostenible de la cuenca. En la cuenca del río Morote se está implementando el Plan de Manejo de la Subcuenca del Río Potrero, depositaria del Morote. Esta acción es muy importante, sin embargo, es un esfuerzo aislado que debe integrarse con trabajo realizado en el Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica Morote. De esta manera, se espera que los cincuenta mil pobladores mejoren su calidad de vida, y se contribuya a la descontaminación, conservación y preservación de los recursos naturales y marino-costeros del Golfo de Nicoya, lo que significará un mejoramiento ambiental y de la calidad de vida.

¿Qué es el Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica Morote?

- Es un subprograma interdisciplinario de investigación, extensión, docencia y producción.
- Su objeto de estudio es conservar el patrimonio natural y cultural de la cuenca hidrográfica Morote.
- Genera información y conocimiento para la gestión integral de los recursos naturales y culturales.
- Mediante la articulación de equipos académicos interdisciplinarios y multidisciplinarios, sus iniciativas y conocimientos facilitan la gestión de subcuencas y microcuencas.
- Sus iniciativas y acciones tendrán como finalidad el desarrollo humano sostenible.

Áreas temáticas del subprograma

- Gestión Ambiental.
- Desarrollo Sostenible.
- Diversidad Natural y Cultural.
- Gestión de Cuencas.
- Educación Ambiental y Manejo de Desechos.

Misión

1. Ser un espacio generador de conocimiento e información científica para aplicarlo en la gestión de cuencas.
2. Facilitar la gestión académica y generar procesos participativos que permitan la formulación y ejecución de políticas y estrategias en los ámbitos local y regional, de manera que contribuya a una gestión integral de cuencas.

Visión

Liderar y promover los procesos de gestión integral de cuencas hidrográficas, contribuyendo al desarrollo humano sostenible, integrando diversos proyectos y equipos multidisciplinarios y desarrollando metodologías integrales, participativas y sostenibles de gestión del patrimonio natural y cultural de la cuenca hidrográfica Morote.

Problemática principal de la cuenca hidrográfica Morote

| PROBLEMA CENTRAL | |
|--|--|
| Degradación de los recursos naturales, contaminación de ríos y manglares en la cuenca hidrográfica Morote y el Golfo de Nicoya | |
| Carencia de un Plan de Manejo de Cuencas. | Ausencia de coordinación comunal e interinstitucional. |
| Control, seguimiento y regulación ineficientes en relación con el uso y manejo del agua. | Pérdida de biodiversidad y calidad del agua. |
| Urbanismo sin planificación y aparición de nuevos asentamientos humanos. | Hacinamiento y problemática socioeconómica. Impacto ambiental negativo. Deterioro del paisaje. |
| Manejo inadecuado de desechos líquidos. | Pérdida de biodiversidad, contaminación de cuerpos de agua y de espacios para la recreación en los ríos. |
| Manejo inadecuado de los desechos sólidos que se lanzan a los ríos y creación de basureros a cielo abierto. Carencia de educación ambiental. | Malos olores, moscas, animales carroñeros, enfermedades, emanaciones tóxicas. Contaminación de cuerpos de agua. Deterioro ecológico. |

| | |
|---|--|
| Inadecuado uso y manejo del suelo. Ganadería extensiva. Plantaciones monocultivistas. | Compactación, erosión, infertilidad, contaminación y sedimentación. |
| Deterioro de los cuerpos de agua. | Pérdida de biodiversidad. Riesgo para el consumo humano y enfermedades. Pérdidas económicas. |
| Deforestación. | Desaparición de fuentes de agua, flora y fauna. Erosión. Sedimentación en ríos y manglares. Pérdida del paisaje. |
| Desconocimiento de la problemática por parte de la población. | Indiferencia social ante los delitos ambientales. Conflictos ambientales. |
| Inexistencia de un plan de ordenamiento espacial. | Deterioro acelerado de los recursos naturales. |

Objetivo general

Contribuir a la preservación y uso racional de los recursos naturales. Asimismo, descontaminar los ríos de la cuenca Morote y el Golfo de Nicoya con la participación comunitaria e institucional.

Objetivos específicos o de ejecución

1. Elaborar propuestas de proyectos de investigación, extensión, docencia y producción.
2. Diseñar un plan de manejo de la cuenca.
3. Elevar el nivel de conciencia ambiental de la población de la cuenca.
4. Definir y diseñar acciones de educación, conservación y preservación ambiental para mantener la base ecológica de la cuenca para el futuro.
5. Implementar el manejo adecuado de los desechos sólidos y líquidos.

6. Facilitar la implementación de proyectos productivos sostenibles.
7. Facilitar la búsqueda de alternativas de conservación y preservación del patrimonio natural y cultural.

Objetivos de operación

1. Evaluar la factibilidad de alternativas para seleccionar las mejores opciones.
2. Implementar un manejo adecuado de desechos sólidos y líquidos.
3. Fomentar el uso y manejo racional del agua, bosque y suelo.
4. Promover la educación ambiental para impulsar la preservación de la cuenca.
5. Desarrollar proyectos productivos y alternativas de conservación del ambiente y la cultura.

Servicios

Entre los principales servicios que el Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica Morote proporciona están los siguientes: el establecimiento de directrices, lineamientos y políticas administrativas, modalidades de gestión (uso y manejo) de recursos naturales, asignación de usos y actividades humanas permitidas, tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos, conservación y preservación de la biodiversidad, fortalecimiento de la identidad cultural, producción de agua para consumo humano y seguridad alimentaria. Otra forma de prestación de servicio debe ser a través del pago de un canon hídrico a establecer. Otros servicios complementarios son: la participación y la educación ambiental de las comunidades, prevención de la contaminación de cuerpos de agua y propagación de enfermedades, estimular el

uso racional y adecuado de los recursos naturales y conservar y proteger los bosques, las zonas de recarga acuífera y nacientes de agua.

Población meta

Los aproximadamente cuarenta mil habitantes de los principales centros urbanos y otros asentamientos humanos, como caseríos y urbanizaciones. Las actividades de estos pobladores van desde el estudio, comercio, agroindustria, agricultura, ganadería, turismo y otros servicios demandados en las ciudades de Nicoya y Hojancha.

Demanda

La población en el área de cobertura de la cuenca Morote mantiene una creciente demanda en el consumo de agua potable para usos relacionados con el desarrollo socioeconómico y urbano. Asimismo, crecen las necesidades de recreación para una población en constante crecimiento. Es necesario conservar la belleza paisajística para el cultivo del intelecto y el espíritu, además, de su importancia para el turismo. La conservación del bosque, en especial en la parte alta, es imperativa para la producción de agua, por lo que el pago de servicios ambientales es viable como un incentivo más para propiciar un manejo y uso adecuados de los recursos naturales. Se hace necesaria la implementación de un proyecto de manejo de desechos sólidos, ya que de seguir sin tratamiento, la situación se tornará inmanejable, dada la enorme cantidad de estos que son lanzados a los ríos y las quebradas. El manejo adecuado de las aguas negras y residuales es urgente, pues cada día se hace imposible darle una solución real por la falta de recursos financieros para construir más y mejores plantas

de tratamiento. El suelo se debe usar de forma racional, esto es, luego de un estudio de su composición se debe utilizar adecuadamente. La educación ambiental en la satisfacción de estas demandas es clave.

Fases realizadas

Diagnóstico de información existente.

Diagnóstico fisicoquímico de nacientes y cuerpos de agua.

Diagnóstico de la percepción problemática ambiental.

Estrategia de educación ambiental en centros educativos.

Estrategia de incorporación interinstitucional.

Comunidades piloto: Matambú y La Mansión.

Trabajo participativo con la comunidad Los Hondores.

Inicio y continuidad de la investigación sobre el patrimonio biocultural de la cuenca.

Enfoque metodológico

Permite desarrollar un análisis participativo, donde los actores implicados se convierten en los protagonistas del proceso de construcción del conocimiento de la realidad sobre el objeto de estudio, en la detección de problemas y necesidades y en la elaboración de propuestas y soluciones.

Según Sánchez (2003), la metodología de la investigación-acción-participación es la manera más efectiva de contribuir tanto a un cambio en la cultura ambiental de los y las habitantes de la cuenca del río Morote, como al fortalecimiento de su identidad cultural mediante el rescate de la historia local.

Proyectos implementados del Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica Morote

Presiones ambientales y calidad del agua de la cuenca del río Morote, Nicoya, Guanacaste

Laboratorio de Química Marina (LABQUIMAR) y Sede Regional Chorotega (SRCH).

Caracterizar la calidad del agua del río Morote en cuanto a la presencia de plaguicidas, metales pesados, nutrientes, sedimentos, así como las presiones surgidas del uso de plaguicidas en el sector agrícola, de los desechos de los sectores doméstico, industrial y turístico que sirvan de base para la estimación de riesgos ambientales y de salud humana, asimismo, para el establecimiento de un programa de recuperación de la cuenca que considere un programa de extensión orientado a la reducción del impacto de estas sustancias nocivas en la región. Junio 2003-Junio 2004.

Diagnóstico del uso de agroquímicos en la cuenca del río Morote, Nicoya, Guanacaste

Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET). Sede Central, Campus Omar Dengo, Heredia y Sede Regional Chorotega (SRCH), Campus Nicoya. Junio 2004-Junio 2005.

Realizar un diagnóstico sobre el uso de plaguicidas en la cuenca del río Morote, Nicoya, Guanacaste, que sirva de base para la estimación de riesgos ambientales y de salud humana y el establecimiento de un programa de extensión orientado a la reducción del impacto de estas sustancias en la región.

Cultura ambiental para el manejo de los desechos en la cuenca del río Morote, Guanacaste

Instituto de Estudios Sociales en Población (IDESPO), Programa Interdisciplinario de Investigación y Gestión del Agua (PRIGA), Laboratorio de Química Marina (LABQUIMAR) y Sede Regional Chorotega (SRCH). Junio 2006-Diciembre 2007.

Desarrollar una estrategia educativa de forma participativa que permita aumentar las capacidades de las comunidades en el manejo adecuado de los desechos sólidos generados y disminuir la contaminación alrededor de la cuenca del río Morote.

TEMÁTICAS DEL PROYECTO

- Gestión integral del recurso hídrico.
- Gestión de cuencas.
- Valoración de la calidad del agua.
- Contaminación ambiental.
- Impacto ambiental de las actividades humanas.
- Educación, capacitación y comunicación ambiental.
- Participación y gestión empresarial comunitaria.
- Historia e identidad cultural.
- Turismo comunitario.

Fortalecimiento del manejo integrado de la cuenca hidrográfica Morote, Guanacaste

Instituto de Estudios Sociales en Población (IDESPO), Programa Interdisciplinario de Investigación y Gestión del Agua (PRIGA), Laboratorio de Química Marina (LABQUIMAR) y Sede Regional Chorotega (SRCH). Enero-Diciembre 2008.

Validar la estrategia de trabajo implementada, de junio 2006-diciembre 2007, con los centros educativos. Por medio de una investigación participativa de la historia local de Matambú, conocer el uso patrimonial y ancestral que le han dado al agua los habitantes de la comunidad. Continuar el proceso de identificación de fuentes de contaminación hídrica.

TEMÁTICAS DEL PROYECTO

- Gestión integral del recurso hídrico.
- Gestión de cuencas.
- Valoración de la calidad del agua.
- Contaminación ambiental.
- Impacto ambiental de las actividades humanas.
- Educación, capacitación y comunicación ambiental.
- Participación y gestión empresarial comunitaria.
- Historia e identidad cultural.
- Turismo comunitario.

Cultura Ambiental en Acción

El proyecto Cultura Ambiental en Acción consiste en incorporar temas relacionados con el ambiente, mercadeo, producción y el mejoramiento de la excelencia, en los integrantes de grupos artísticos, sus miembros y directores, de la región Chorotega, así como la ejecución de talleres, charlas y utilización de la cuenca hidrográfica Morote y del bosque Ramón Álvarez, ubicado en el cantón de Santa Cruz. Enero 2009-Diciembre 2010.

Impacto en la sociedad

El impacto en actores locales sobre la problemática de la cuenca hidrográfica Morote se ha llevado a cabo fortaleciendo la participación en pro de la conservación del ambiente, mediante el aumento de las capacidades, los conocimientos y las habilidades del sector educativo y la comunidad piloto Los Hondores.

Recomendaciones

El trabajo en la cuenca es a largo plazo.

Es necesario un trabajo en diferentes niveles de la microcuenca, subcuenca y cuenca.

Es necesario un abordaje interdisciplinario, transdisciplinario y multisectorial.

Debe crearse un programa de conciencia e información de gestión de la cuenca.

Para consolidar el trabajo académico en la cuenca del río Morote y de la región en general se recomienda normalizar el nombramiento de los investigadores que se encuentran laborando en el proyecto.

Es necesario que se ejecute a tiempo y de forma descentralizada la adquisición de materiales y equipo.

Integración de otros especialistas y unidades académicas de la UNA –incluyendo académicos de la Sede Regional Chorotega–, con el fin de abordar otras áreas de trabajo asociadas a la problemática presentada en la cuenca, como por ejemplo: caracterización y evaluación del estado de las nacientes, trabajo con enfoque de género, gestión territorial integrada, manejo de recursos naturales y ecología del paisaje, restauración ambiental y cultura ambiental.

Grupos meta

- Habitantes de la comunidad de La Mansión de Nicoya.
- Miembros de la Asociación de Desarrollo Integral del Territorio Indígena Chorotega, Matambú.
- Miembros del Acueducto Rural Comunitario de Los Honores, Nicoya.

Unidades académicas participantes en el Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica Morote

- Sede Regional Chorotega, Campus Nicoya y Liberia, UNA.
- Laboratorio de Química Marina (LABQUIMAR), UNA.
- Escuela de Ciencias Agrarias, UNA.
- Escuela de Ciencias Ambientales, UNA.
- Programa Interdisciplinario de Investigación y Gestión del Agua (PRIGA), UNA.
- Facultad de Ciencias Sociales. Instituto de Estudios Sociales en Población (IDESPO), UNA.
- Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), UNA.
- Universidad de Costa Rica (UCR).
- Universidad Estatal a Distancia (UNED).

Participación de instituciones públicas

- Ministerio de Salud.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).
- Municipalidad de Nicoya: Oficina de Ambiente.
- Área de Conservación Tempisque: Subregional Nicoya, MINAET. Corredor Biológico Hojancha-Nandayure. Corredor Biológico Chorotega.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería: Subregional Nicoya y el Centro Agrícola de Nicoya.
- Centro Agrícola Cantonal de Nandayure.
- Centro Agrícola Cantonal de Hojancha.
- Escuela Cacique Nicoya.
- Escuela 26 de Febrero de 1886, Matambú.
- Escuela Antonio Maceo Grajales, La Mansión de Nicoya.
- Colegio Técnico Profesional de La Mansión.

Participación de instituciones privadas

- Fundación Cerros de Jesús.
- Finca La Palma, Nicoya.

Documentos

Acosta, S. y Millán, J. (2008). Guía didáctica "A cuidar el Agua".

PRIGA. (2009). Promoviendo la cultura ambiental para el manejo de cuencas y la conservación de los recursos naturales: el caso del manejo de los desechos en la cuenca hidrográfica Morote. Guanacaste, Costa Rica.

Cruz Chaves, C. y Millán Araujo, J. (2007). Agua, cultura y ambiente: el caso de la cuenca hidrográfica Morote, Guanacaste. EN: *BIOSENOSIS: Revista de Educación Ambiental*, 20 (1-2). San José, Costa Rica: EUNED.

León, S. (2006). Cuenca del río Morote: estudio de la calidad del agua mediante indicadores físico-químicos. Escuela de Química. Universidad Nacional.

Zúñiga, I. (2004). Diagnóstico y Propuesta de Plan de Manejo Integral de la Cuenca del río Morote. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional.

Periódico Comunal Matamba.

Exposición de Afiches sobre la Historia Local.

Ponencias

- Nelly López Alfaro (investigadora, IDESPO) y Carlos Cruz Chaves (investigador, Sede Chorotega). SALUD SOCIOAMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MOROTE: UNA EXPERIENCIA DE GESTIÓN, PENÍNSULA DE NICOYA-COSTA RICA. Universidad Nacional. 2010.
- Carlos Cruz Chaves. PROBLEMAS Y SOLUCIONES SOCIOAMBIENTALES: EL CASO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MOROTE. Sede Regional Chorotega. UNA. 2009.
- Carlos Cruz Ch. HISTORIA APLICADA Y CONFLICTIVIDAD SOCIOAMBIENTAL EN GUANACASTE. CASOS: CUENCA HIDROGRÁFICA MOROTE Y POLO TURÍSTICO PAPAGAYO. Universidad Nacional. Facultad de Ciencias Sociales. Taller de Historia Aplicada. 2009.

Conclusiones

Se logró la articulación del trabajo de especialistas de la UNA de forma interdisciplinaria conformando un equipo de trabajo que, conjuntamente con los grupos locales, abordaron el problema socioambiental del manejo de los desechos en la cuenca y propusieron soluciones a este. La integración de diferentes disciplinas abordando el problema socioambiental asociado al recurso hídrico y desde diferentes áreas del conocimiento, como la historia, la educación ambiental, la química, la geografía, entre otras, ha permitido enriquecer el trabajo y las discusiones, así como el desarrollo e integración de propuestas de acción y solución que se han operacionalizado a través de los actores locales ubicados en la cuenca hidrográfica Morote.

Las comunidades y los centros educativos involucrados en el proyecto participaron activamente en las diferentes actividades del proyecto, conocieron de forma más específica el problema socioambiental de los desechos en la cuenca del río Morote, se capacitaron y lograron sensibilizar sobre la importancia de la cuenca proponiendo de forma participativa soluciones consensuadas a dicha problemática socioambiental.

El proyecto logró recopilar y caracterizar información de gran interés para la cuenca hidrográfica, la cual servirá de insumo, con el fin de identificar aspectos relevantes de la zona y como herramienta para la elaboración de un plan de manejo de la cuenca para el futuro.

El Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica Morote ha logrado un reconocimiento no solo en la comunidad universitaria, sino en el ámbito local de la cuenca. Por ello, este subprograma tiene un enorme potencial para el desarrollo de otras acciones de investigación, extensión y como espacio para apoyar la docencia, la investigación y la extensión de la Sede Regional Chorotega y el trabajo con otras instancias, como instituciones, empresas, gobiernos locales, etc.

La continuidad del Subprograma Morote es fundamental, con el fin de reforzar y potenciar las acciones y actividades ejecutadas en las comunidades y centros educativos, con miras a replicarlo en otras comunidades y centros educativos. Asimismo, es de suma importancia formular propuestas para prevenir la problemática socioambiental, lo que requiere de un trabajo permanente y sistemático con los actores de la cuenca, como las instituciones públicas, los empresarios, las municipalidades, los grupos organizados y la población en general.

Es necesario un abordaje del trabajo de la subcuenca, la microcuenca y por zonas de la cuenca (partes alta, media y baja), priorizando los espacios territoriales con mayores problemas y optimizando el trabajo en función de los recursos

disponibles. En este contexto, el equipo del proyecto ha iniciado una segunda fase, con el fin de revisar lo realizado hasta ahora y fortalecer las acciones ejecutadas involucrando a otros actores sociales de la cuenca. Por lo que se requiere la integración de otras disciplinas como hidrología, agronomía, ciencias de la salud, administración, entre otras, para diseñar e implementar un plan de manejo integrado de la cuenca con la participación de todos los sectores involucrados.

Las causas y consecuencias de la pérdida de calidad de la cuenca del río Morote son ocasionadas, fundamentalmente, por una suma de factores, entre los cuales se destacan: falta de implementación de un plan de manejo de la cuenca, lo que ha incidido en la descoordinación comunal e interinstitucional; carencia de control, seguimiento y regulación eficientes en relación con el uso y manejo del agua, bosque, suelo, producción agroindustrial y manejo de desechos sólidos y líquidos, con la consecuente pérdida de biodiversidad, calidad del agua y deterioro ecológico.

La ejecución del Subprograma Morote permitió la integración de un equipo interdisciplinario dispuesto a asumir el reto de un trabajo cada vez más coordinado. La necesidad de darle continuidad al Subprograma Morote surge como consecuencia lógica del trabajo y permanencia en la cuenca hidrográfica Morote, por lo que se ha concursado por los fondos FIDA y se logró la aprobación del proyecto ACCIÓN SOCIOAMBIENTAL PARTICIPATIVA PARA EL MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MOROTE (2012-2014).

Figura 2



Fuente: Carlos Cruz Chaves.

Desembocadura del río Morote.

Nótese el avance de las actividades agropecuarias que amenazan el manglar del estero Morote. Asimismo, en el primer plano inferior se puede observar el sedimento arrastrado por el río hasta el Golfo de Nicoya.

Referencias bibliográficas

- Astorga, Y. (2009). Decimoquinto Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Informe Final. Situación del Recurso Hídrico. San José, Costa Rica.
- CATIE. (2008). Marco conceptual del manejo de cuencas hidrográficas.
- CEPAL. (1994). Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas. Venezuela. Cruz, C. (2005). Subprograma para el Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica Morote. Documento de trabajo. Vicerrectoría Académica, Universidad Nacional.
- León, S. y otros. (2006). Presiones ambientales y calidad del agua de la cuenca del río Morote, Nicoya, Guanacaste. Mimeografiado.
- Programa Estado de la Nación. (2008). Decimocuarto Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica.
- Ramakrishna, B. (1997). Estrategias de extensión para el manejo de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. IICA, Costa Rica.
- Sánchez, V. (2003). *Gestión ambiental participativa de microcuencas: fundamentos y aplicación: el caso de la quebrada Salitral, Costa Rica*. Heredia, Costa Rica: EUNA.
- Spiller, I. (2008). Inicia encuentro para el debate de la gestión del agua en América Latina. www.rebellion.org Consultado el 27 de noviembre de 2008.

CONTRIBUYENTES

Dra. Aurora Hernández Ulate. Es geógrafa y doctora en Ciencias Naturales para el Desarrollo con énfasis en Gestión y Cultura Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica, de la Universidad Nacional y de la Universidad Estatal a Distancia. Ha laborado como académica en la Universidad Nacional desde el 2004 y su trabajo en investigación se ha centrado en los temas de cuencas hidrográficas y de límites y fronteras.

M.Sc. Viviana Salgado Silva. Graduada de Maestría en Gestión y Estudios Ambientales en la Escuela de Química de la Universidad Nacional. Se ha especializado en el diseño y aplicación de indicadores de gestión del agua en el marco del quehacer del Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico de la Escuela de Química, donde labora como investigadora y extensionista. Desde el 2007 se desempeña en la Dirección de Investigación de la misma Universidad como asesora de proyectos académicos.

M.Sc. Juana María Coto Campos. Posee licenciatura en Química por la Universidad de Costa Rica y maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental con énfasis en Calidad de Aguas por la Universidad de Cornell, Estados Unidos. Es académica ad honórem de la Escuela de Química de la Universidad Nacional y forma parte del Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico de esa unidad académica. Ha desarrollado investigación y extensión en los campos de calidad de aguas y gestión ambiental participativa.

M.Sc. Ana Cristina Benavides Benavides. Es licenciada en Educación Ambiental y máster en Gestión y Estudios Ambientales por la Universidad Nacional de Costa Rica. Es académica de la Escuela de Química de la Universidad Nacional y forma parte del equipo investigador del Laboratorio de Manejo del Recurso Hídrico (LAMRHI) en esta unidad académica. Cuenta con experiencia en el desarrollo de procesos

de educación ambiental e involucramiento de la sociedad civil en la resolución de problemas relacionados con el agua, así como en la temática de indicadores sociales, productivos y ambientales para la gestión integrada del recurso hídrico.

Dr. Alexander López R. Ostenta un doctorado por la Universidad de Oslo, Noruega, en Ambiente y Desarrollo. Ex director de la Escuela de Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional de Costa Rica. Es miembro fundador de la Universities Partnership for Transboundary Waters y miembro consejero del Centre for Water, Policy and Science de la Universidad de Dundee. Igualmente, tiene una amplia experiencia de campo en el tema de la gestión de los recursos hídricos, ha trabajado en la India, Sudáfrica, Vietnam, Brasil, toda Centroamérica y México.

Dr. Carlos Gerardo Cruz Chaves. Historiador y ecólogo social. Es académico de la Sede Regional Chorotega de la Universidad Nacional y sus áreas de trabajo son las siguientes: historia ambiental, patrimonio natural y cultural, cultura ambiental, turismo y desarrollo local y uso y manejo integrado de cuencas hidrográficas. Actualmente, se desempeña como docente, investigador y extensionista en los proyectos: "Acción socioambiental participativa para la gestión integral de la cuenca hidrográfica Morote", "Fortalecimiento de la organización comunal y desarrollo de capacidades empresariales en los pequeños (as) productores (as) y microempresarios (as) para el fomento del desarrollo sustentable en las comunidades fronterizas del cantón de La Cruz, Guanacaste, Costa Rica" y "El Bosque Seco en Llamas. Historia y memoria del fuego en el Guanacaste Contemporáneo. 1950-2010".

M.Sc. María Luisa Fournier Leiva. Máster en Oceanografía Biológica de la Universidad de Bretaña Occidental, Brest, Francia. Desde el año 2001 es académica del Área Ambiental del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET). Entre 1990 y el 2005 se dedicó a

consultorías en el tema de impacto ambiental de proyectos de desarrollo y de 1981 a 1990 fue investigadora adscrita al Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica. Ha desarrollado investigación sobre biología de moluscos con potencial para maricultura, impacto de actividades productivas en los ecosistemas acuáticos, riesgo del uso de plaguicidas y antibióticos en agricultura y crianza de animales.

Dra. Luisa E. Castillo. Obtuvo su doctorado en Ecotoxicología Marina en el Departamento de Ecología de Sistemas de la Universidad de Estocolmo, Suecia, su diploma de Estudios Especializados en Toxicología Ambiental en la Universidad de Metz, Francia, y su maestría en Biología en la Universidad de Costa Rica. Su línea de trabajo incluye la ecotoxicología, la contaminación ambiental, los plaguicidas y los ecosistemas acuáticos. Ha coordinado más de 15 programas y proyectos de investigación y docencia en el campo de quehacer del IRET (SAREC-Swe, PNUMA/GEF, EU, GTZ, CRUSA, IDRC) y cuenta con amplia producción de artículos científicos, informes técnicos, presentaciones en congresos, organización de eventos científicos nacionales e internacionales en el campo de impacto de sustancias tóxicas sobre los recursos acuáticos.

Dra. Elba de la Cruz Malavassi. PhD en Ciencias con especialidad en Ecotoxicología y con una maestría en Ecología Marina, ambos títulos de la Universidad Libre de Bruselas, Bélgica. Goza de amplia experiencia como gestora y coordinadora de proyectos científicos y de amplia producción de proyectos científicos y de consultorías, entre otros, para la Contraloría General de la República, extensa producción de artículos, informes técnico-científicos, presentaciones en congresos en el campo de impacto y riesgo de las sustancias tóxicas sobre los recursos acuáticos. Es coordinadora del Programa de Maestría en Ecotoxicología Tropical con énfasis en Vida Silvestre y Ecotoxicología Acuática.

M.Sc. Rocío Ugalde S. Máster en Ciencias Biológicas con énfasis en Ecología Acuática Tropical, graduada de la Universidad de Bremen, Alemania. Cuenta con experiencia en estudio del impacto de plaguicidas sobre ecosistemas dulceacuícolas, bioensayos de toxicidad con *Daphnia magna*, *Daphnia ambigua*, *Ceriodaphnia dubia*, *Hidra attenuata*, *Hidra verde*, *Lactuca sattivá*, *Raphidocellis subcapitata*, *Chlorella vulgaris*, *Lemna minor*. También ha estudiado el uso de microalgas como indicadores biológicos de contaminación de cuerpos de agua y el aislamiento y cultivo de especies de microalgas nativas. Ha sido parte de la organización de eventos científicos nacionales e internacionales en el campo de impacto de sustancias tóxicas sobre los recursos acuáticos. Docente en los niveles de grado y posgrado en la UNA, participación en comité editorial, organizadora y parte del comité científico del congreso internacional CICTA 2010, producción de artículos, capítulos de libros nacionales e internacionales en temas de ecotoxicología y aguas.

M.Sc. Helga Madrigal Solís. Cuenta con una maestría con énfasis en Recursos Hídricos y un énfasis secundario en Ecología, Evolución y Comportamiento de la Universidad de Minnesota (UMN). Además, obtuvo una licenciatura en Biología Tropical con énfasis en Manejo de Recursos Naturales de la Universidad Nacional (UNA). Desde el 2001, ha participado en proyectos de investigación desarrollados por el Laboratorio de Hidrología Ambiental, cofinanciados por el Organismo Internacional de Energía Atómica y por la Fundación para la Cooperación CRUSA. También ha estudiado el impacto del turismo sobre el agua subterránea en algunas zonas costeras del Pacífico Norte y Central, como parte de un proyecto de investigación liderado por el Centro Internacional de Políticas Económicas para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional (CINPE-UNA) y por la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Desde el 2007, funge como docente en la Escuela de Ciencias Biológicas y coordinadora

del Laboratorio de Hidrología Ambiental de la UNA y ha sido la responsable de cuatro proyectos de investigación relacionados con el estudio y la gestión de acuíferos en el Valle Central y en el Pacífico Norte.

M.Sc. Alicia Fonseca Sánchez. Graduada de la Universidad Nacional, tiene formación básica como bachiller en el área de la Biología Tropical y una licenciatura en Manejo de Recursos Naturales. Actualmente, es estudiante candidata a optar por el grado de maestría en la Maestría en Gestión y Estudios Ambientales de la Universidad Nacional. Desde el año 2007, labora en la Universidad Nacional tanto en la parte docente como en la de investigación. En el Laboratorio de Hidrología Ambiental ha participado en diversos proyectos de investigación relacionados con la protección de las aguas subterráneas, determinación de fuentes potenciales de contaminación de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica y establecimiento de redes de monitores para la calidad del agua. Su tesis de maestría se basa en la elaboración de Planes de Seguridad del Agua para Acueductos Rurales.

Dra. Jenny Reynolds. Doctora en Recursos Naturales con énfasis en Recursos Hídricos de la Universidad de Michigan, Estados Unidos, y especialista en Ecología de Aguas de la Universidad Federal de Río Grande do Sul, Brasil. Catedrática de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, donde fue docente e investigadora por más de 20 años. Impartió cursos relacionados con la ecología y el manejo de los recursos naturales y desarrolló estudios y proyectos de investigación referentes al impacto de la actividad humana sobre las aguas subterráneas. Fue coordinadora del Laboratorio de Hidrología Ambiental y posee más de 20 artículos científicos y ponencias en foros nacionales e internacionales. Ha editado dos libros relacionados con el recurso hídrico y organizado varios seminarios, talleres, simposios y foros relacionados con el uso sostenible de las aguas. Actualmente, se encuentra pensionada.

El manejo y la gestión de los recursos naturales ha sido tema sustantivo de preocupación académica en la Universidad Nacional, desde su fundación. Así, algunas temáticas que durante los últimos años se han transformado relevantes para la sustentabilidad del planeta y por ende del país, como el ordenamiento territorial, el manejo del recurso hídrico y la gestión de cuencas hidrográficas, han sido de particular atención en numerosos proyectos académicos. Estos espacios cognitivos que requieren de abordajes transdisciplinarios y la integración de la investigación, la extensión y docencia, han permitido la construcción de equipos académicos, el desarrollo de paradigmas innovadores que consideran la participación ciudadana para la atención integral de los problemas y estimular la toma de decisiones.

Esta obra, la primera de su tipo en nuestra institución, tiene como objetivo ofrecer conocimiento sobre cuencas hidrográficas, generado por importantes grupos académicos que durante la última década han asumido el reto de aportar a la sociedad información relevante. Los aportes se organizan en dos grandes apartados: el primero aborda aspectos básicos sobre la temática, mientras que en la segunda parte se atienden algunos casos de estudios en temas como: la gobernabilidad en el manejo de cuencas transfronterizas, la evaluación de sustancias contaminantes en el agua, entre otros.

De esta forma, la Universidad Nacional, aporta a la socialización del conocimiento para las diferentes comunidades y establece un diálogo que permite retroalimentar el quehacer académico institucional, en temas fundamentales para la sociedad costarricense.



ISBN: 978-9977-65-426-3



9 789977 654263