UNESCO Programa Hidrológico Internacional
Hidrología para el Ambiente, la Vida y las Políticas-HELP

Segundo Simposio Internacional

Construyendo Caminos de Conocimiento para un Futuro con Sostenibilidad Hídrica

COMITÉ ORGANIZADOR DEL SIMPOSIO
Shahbaz Khan
Eda R. Soto
Carolina Llovera
Alicia Salas
Emilio Messina

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL
Awadhesh Prasad
Francisco Jiménez
Jorge Faustino
Susana Neto
Anny Chaves Quiróz
Rahmah Elfithri
Henrique Chaves
Moisés Darwish
Claudia Candanedo
Mayte González

EDITADO POR
Andrés Tarté
Eda R. Soto
Emilio A. Messina

UNESCO
Programa Hidrológico Internacional
Hidrología para el Ambiente, la Vida y las Políticas -HELP

Memorias del Segundo Simposio Internacional

Construyendo Caminos de Conocimiento para un Futuro con Sostenibilidad Hídrica

Panamá, República de Panamá
21-24 noviembre 2011

Memorias del Segundo **Simposio Internacional Construyendo Caminos de Conocimiento para un Futuro con Sostenibilidad Hídrica**, Panamá, República de Panamá, 21-24 noviembre 2011.

Publicado por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) y UNESCO, 2011

Un reconocimiento especial al Comité Científico del simposio por su valioso aporte y servicios en el control de calidad y edición de esta publicación.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no suponen por parte de la Autoridad del Canal de Panamá o la UNESCO, la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la ACP o la UNESCO.

Se autoriza la reproducción de esta publicación para fines educacionales o sin fines de lucro, sin un permiso especial de la ACP o la UNESCO, a condición de que la fuente se mencione en forma apropiada.

Impreso por Punto Gráfico

Índice

Construyendo puentes de conocimiento y no muros para un futuro hídrico sostenible 9
Shahbaz Khan

1. IMPACTOS DEL CAMBIO GLOBAL EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Análisis institucional de la gestión del agua, la política federal, y la dinámica entre actores gubernamentales y no-gubernamentales en la solución de problemas 17
Anne Browning-Aiken y Ernesto Perla Pliego

Medidas de adaptación al cambio climático en la cuenca binacional del Río Sixaola: construyendo capacidad de gobernanza desde el nivel local al nacional y regional, Costa Rica – Panamá 23
Ariel Amoroso

Cambio climático e impacto antropogénico sobre los recursos hídricos de los montes del Líbano 24
A. Shaban y T. Darwich

Reconstrucción histórica del caudal en el noroeste de Argentina con base en registros dendrocronológicos 30
Eduardo A. Flamenco, Ricardo Villalba y Rafael O. Rodriguez

Impactos del cambio climático en el régimen hidrológico y en los medios de subsistencia locales de la cuenca alta del Río Kaligandaki en Nepal 35
Jagat K. Bhusal y Prem Sagar Chapagai

Eventos de lluvia y la calidad de agua en ríos empleados como fuentes de abastecimiento de agua potable: Casos Río Pacora y Cabra 41
José Fábrega, Erick Vallester, Johana Valdés, Gloria Garcia, Marcial Arias, Kleveer Espino y Chad Jafvert

Plan de respuesta a emergencias por inundación en las comunidades de Guayabalito y Santa Rosa 42
Gerardo Leis Romero

El Programa de Control de Inundaciones de la Autoridad del Canal de Panamá 47
Johnny A. Cuevas M.

Gestión del agua en el Canal de Panamá durante la inundación extrema en diciembre de 2010 53
Jorge A. Espinosa

La gestión del agua en la Cuenca del Río Colorado, un gran desafío para México y los Estados Unidos, antes de la sequía y el cambio climático 58
Felipe Arreguín Cortés, Mario López Pérez, José Gutiérrez Ramírez y Adriana Rodríguez Rodríguez

El Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas como estrategia de gestión territorial para la adaptación al cambio climático en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá *Noel Trejos Castillo* **62**

Comprendiendo el impacto del cambio climático en la cuenca glaciar alpina de la región del Himalaya utilizando el modelo hidrológico J2000 **68**
Santosh Nepal, Peter Krause, Wolfgang-albert Flügel, Manfred Fink y Björn Pfennig

2. FORTALECIMIENTO DE LA GOBERNABILIDAD Y LAS INSTITUCIONES

La Cuenca Binacional del Río Sixaola *Alfonso Sanabria A.* **77**

La cuenca de Murray-Darling: el viaje australiano hacia la sostenibilidad **81**
Awadhesh Prasad

Gobernabilidad y ética del agua *David Groenfeldt* **88**

Estructuras de gobernanza para la efectiva gestión integrada de cuencas – lecciones y experiencias de la Cuenca HELP Tweed en Reino Unido **94**
Chris J. Spray y Luke Comins

Una revisión de los efectos de la política de cuencas en las cuencas altas de Davao **100**
Declan Hearne y Verna Marie Monsanto

Mejorando la gobernanza local en las cuencas hidrográficas: algunas lecciones aprendidas de Honduras y Nicaragua *Hans Kammerbauer* **106**

Organizaciones de cuenca en Cuba y experiencias alcanzadas con los Consejos Nacionales, Territoriales y Específicos de Cuencas Hidrográficas **113**
Jorge Mario García Fernández, Augusto López González, Ubalde Aballí, Viviana Castro Enjamio y Ada Elsa Bients Perdomo

Un modelo conceptual para la aplicación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos Transfronterizos *J. Ganoulis y Ch. Skoulikaris* **119**

De la capacitación a la acción en campo *Marian Muste, Jennifer Filipiak y Charles Spitzack* **123**

Cooperación y conflictos con recursos hídricos locales: carencias en el marco legal y administrativo de la gobernabilidad del agua en Bolivia, Mali, Nicaragua, Vietnam y Zambia *Roberto Rivas Hermann, Catherine Galvez Hooper y Helle Munk Ravnborg* **130**

Una iniciativa regional de monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos **136**
Rolando Célleri, Patricio Crespo, Bert De Bièvre y Luis Acosta

Un futuro con escasez de agua para la India *Sridhar Tyageswaran* **141**

Creando sinergias con los programas HELP y de Ecohidrología de la UNESCO-PHI en la cuenca hidrográfica del Río Guadiana *Susana Neto, Luis Chícharo y Jeff Camkin* **148**

Gobernabilidad sostenible del agua y fortalecimiento institucional a través de prácticas de gestión integrada de cuencas en Andhra Pradesh, India *Suvarna Chandrappagari* **154**

Un marco de cumplimiento alternativo para el manejo de aguas pluviales urbanas en la región costera central de California *Violetta Pristel* **161**

Mantenimiento, pruebas y monitoreo de la calidad del agua en los sistemas rurales de suministro de agua en Sri Lanka *W.B.G. Fernando y T.W.S. Perera* **169**

La Cuenca Hidrográfica de Cuyaguateje (HELP Cuba): Experiencias en gestión integrada *Zeida Romero Palmero y Matías R. Pérez Duarte* **176**

3. ECOHIDROLOGÍA PARA ECOSISTEMAS SALUDABLES

Biodiversidad de la Cuenca del Río Reventazón: conocimiento para la gestión *Anny Chaves, Carlos Gamboa, Luz Marina Rodríguez, Jorge Leiva, Alex Molina, Carlos Arrieta y Susy Segura* **183**

Degradación ecológica de humedales de marisma debido al cambio climático global y a las perturbaciones humanas en el noreste de China *Demin Zhou y Xiaojuan Li* **189**

Modelación del flujo de agua subterránea utilizando trazadores químicos en una micro cuenca: Gamboa, Cerro Pelado, Canal de Panamá *Erick Vallester, Euclides Deago, José Rodríguez y Jeimi Cerrud* **193**

Modelación de la desnitrificación biológica del agua usando paja canalera (Saccharum spontaneum) como fuente de carbono *Euclides Deago, Gonzalo Pizarro y Erick Vallester* **194**

Un Experimento en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá – El Proyecto Agua Salud *Fred L. Ogden, Robert F. Stallard, Helmut Elsenbeer y Jefferson Hall* **195**

Gestión hídrica innovadora para comunidades lacustres en Uganda: El enfoque socio-eco-hídrico de la salud *Frederick Kakembo* **201**

Soluciones ecológicas y eco-hidrológicas para el manejo sostenible de los recodos de la cuenca del Río Citarum en Indonesia *Giuseppe Arduino, Eva Mia Siska, Marco Bonetti, Ramsis Salama y Jose Miguel Ruiz Verona* **208**

Manejo de micro-cuencas y sistemas micro-hidroeléctricos como herramienta para desarrollo comunitario y conservación de biodiversidad *Nelson Ulloa* **214**

Análisis y predicción de riesgo ecológico vegetal bajo el impacto de la explotación de aguas subterráneas en el área de Wulannao, Cuenca de Ordos, China **215**
Su Xiaosi y Wang Wei

4. VÍNCULOS ENTRE EL AGUA, SEGURIDAD ALIMENTARIA Y ENERGÍA

Renovación de la hidrología en la cuenca del Río Gagas: estrategias impulsadas por comunidades *Anita Paul y Kalyan Paul* **223**

Uso de especies nativas para la reforestación de tierras en la Cuenca del Canal de Panamá *Arturo Cerezo* **228**

Requisitos previos de las instituciones de gestión del agua para el escenario del contraste entre la disponibilidad de agua y nivel de pobreza: un estudio de caso de la Cuenca del Río Ganges, India *Bishakha Ghosh y E.B. Uday Bhaskar Reddy* **234**

Vinculación entre el sustento de los agricultores, los árboles y el proceso de agua y suelos en las buenas prácticas de gestión de áreas de captación **240**
Laura Benegas Negri, Victor Meza Picado, Anders Malmer y Benno Pokorny

Acciones para la sostenibilidad ambiental y económica en dos cuecas HELP: São Francisco Verdadeiro (Brasil) y Carapá (Paraguay) **247**
Rafael Hernando De Aguiar González, Francisco Pedro Domaniczky Lanik, Cícero Bley Junior y Ana Carolina Gossen Siani

La travesía del agua y problemas en la cuenca de un río con recursos limitados **254**
Ruth Gamboa y Declan Hearne

5. EDUCACIÓN E INTERCAMBIO DE CONOCIMIENTOS SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

Aplicación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas a una cuenca HELP en zona árida: La Cuenca del Río Elqui en la parte norte-central de Chile **257**
Ana Elizabeth Cortés, Ricardo Oyarzún, Nicole Kretschmer, Henrique Chaves y Guido Soto

Análisis de correlación entre extracción de aguas subterráneas y hundimientos de tierra en la Planicie de Beijing, China *Chen Beibei, Gong Huili, Li Xiaojuan, Lei Kunchao, Li Jiwei y Dang Yanan* **264**

Nuevas tecnologías de la información para la gestión sostenible del agua: ¿una solución para hacer frente a los cambios globales? *Beatrice Mosello* **271**

Monitoreo satelital del Lago Atitlán en Guatemala *Betzy Hernandez, Africa Flores, Bessy Garcia, Antonio Clemente, Miroslava Morán, Emil Cherrington, Marcelo Oyuela, Octavio Smith, y José Maria Guardia* **272**

Lecciones aprendidas sobre la gestión integrada de microcuencas en las cuencas asociadas al Volcán Tacaná (México y Guatemala): El caso de Guatemala *Carlos Rosal y Ottoniel Rivera* **277**

Nueva pedagogía ecosistémica y compleja para la sostenibilidad del agua *Emilio A. Messina G.* **278**

Análisis integrado de la sostenibilidad de seis cuencas HELP de América Latina *Henrique M. Leite Chaves* **285**

Deformación tridimensional y el mecanismo de evolución de los hundimientos del suelo en una zona típica de Beijing *Gong Huili, Li Xiaojuan, Chen Beibei, Lei Kunchao y Zhang Youquan* **291**

Modelación hidrológica con el modelo de calibración automática (PEST) en el Río Guishui, China *Jing Zhang, Linrui Song y Huili Gong* **297**

Un Índice simplificado de Gestión de Cuencas Hidrográficas (IsGC) en las cuencas de Cuba *Jorge Mario García Fernández, Viviana Castro Enjamio y Joaquín B. Gutiérrez Díaz* **298**

Mitigación de las inundaciones utilizando un modelo integrado de pronóstico en tiempo real para la Cuenca del Río Langat, Malasia *Mohd Ekhwan Toriman, Mazlin Mokhtar y Rahmah Elfithri* **303**

Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) para el Río Reventazón en Cartago, Costa Rica, período 2000-2005 *Nick Catano, Mark Marchand, Simone Staley, Yao Wang, Guillermo Flores M. y Gustavo Calvo* **310**

El Índice de Sostenibilidad de Cuencas en la cuenca del Río Limarí en Chile *Nicole Kretschmer, Anja Wendt, Ricardo Oyarzun y Henrique Chaves* **318**

Evolución de la educación ambiental para la conservación del recurso hídrico de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá *Rolando Checa Campos* **325**

Nuevas bases de aprendizaje para la construcción de puentes de conocimiento sobre el agua *Susana Neto y Jeff Camkin* **331**

Gestión del conocimiento en el sector hídrico *Sunetra Lala, Nitya Jacob y Smita Sivakumar* **337**

Construyendo puentes de conocimiento y no muros para un futuro hídrico sostenible

SHAHBAZ KHAN
Sección de Agua y Desarrollo Sostenible, División de Ciencias Hídricas de la UNESCO, París, Francia
s.khan@unesco.org

Resumen Este documento provee un vistazo general de las lecciones clave obtenidas de la tercera fase (2009-2013) de la Red HELP de Cuencas Hidrográficas del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. El mismo resalta la necesidad de una ciencia trans-disciplinaria enlazada a un conocimiento basado en la reglamentación de la gestión hídrica. Tal acercamiento puede ayudar a evitar los muros existentes entre los científicos, ingenieros y administradores hídricos, abogados y otras partes interesados en las cuencas hidrográficas. La gestión paralela (twinning) de cuencas para la construcción de sistemas de apoyo en la toma de decisiones, acciones conjuntas en cambio climático y extremos hidrológicos, implementación de buenas prácticas gubernamentales y el desarrollo de herramientas compartidas de GIRH por medio de estudios comparativos continúan siendo las áreas comunes de acción a lo largo y ancho de las cuencas hidrográficas del programa HELP.

Palabras clave evaluación; combinación; PHI; HELP; cuencas hidrográficas

1 Introducción

HELP es un acrónimo en inglés que significa Hidrología para el Ambiente, la Vida y las Políticas. El mismo es un programa transversal bajo el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO. El programa HELP fue iniciado por la comunidad científica en hidrología y adoptado por la UNESCO y la OMM en 1999. HELP está diseñado para desarrollar y aplicar la investigación científica en la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) por medio de una red global de cuencas, con el fin de mejorar los vínculos entre las ciencias hídricas y las necesidades de la sociedad. El programa busca ejemplos de una buena ciencia orientada hacia las soluciones que puedan generar resultados reales, que impacten a la gente y a las cuencas, tanto local como globalmente.[1]

La primera fase de HELP (1999-2004) fue un programa piloto, y la segunda fase (2004-2008) llevó los principios de HELP a la realidad operacional. Mientras que las primeras dos fases fueron muy exitosas en unir científicos, formuladores de políticas, y partes interesadas implementando un manejo integrado de los recursos hídricos, la tercera fase (2009-2013) intenta enfrentar nuevos desafíos (la distribución de la red para la tercera fase se muestra en la Fig. 1). Estos desafíos incluyen:

- Adaptación en los sectores cambio climático-pobreza-agua
- Nexo agua-pobreza-ambiente
- Nexo energía-agua-pobreza
- Demanda de biocombustibles originando competencia por tierras y recursos hídricos utilizados para producción de alimentos
- Globalización y regulaciones comerciales para la seguridad alimentaria
- El rol cambiante del estado y los actores hídricos locales
- Género y la feminización de la agricultura y otros sectores hídrico-intensivos
- El progreso anterior de la iniciativa HELP ha sido capturado en un volumen especial de *Water South Africa* 34(4), el cual contiene documentos seleccionados del simposio ‘HELP en acción:

1 Un vistazo general del programa HELP puede encontrarse en: www.facebook.com/UNESCOHELPFORUM.

Soluciones Locales a los Problemas de Agua Globales – Lecciones desde el Sur', celebrado en Johannesburgo, Suráfrica en 2007 (Khan, 2008).

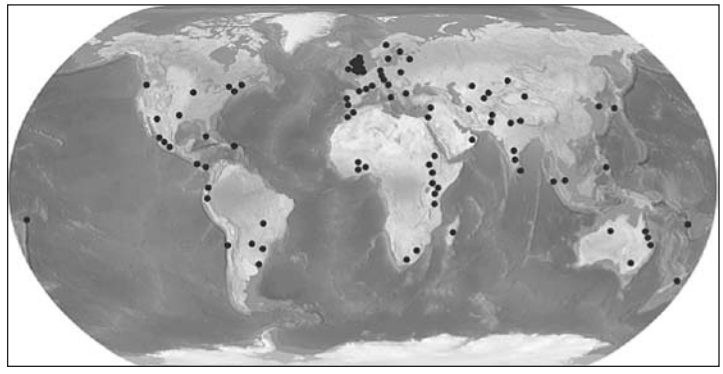


Fig. 1 La Red de Cuencas HELP.

2 Lecciones aprendidas de la evaluación de las propuestas de la tercera fase

Durante la tercera fase de HELP, 47 propuestas fueron recibidas, las cuales fueron evaluadas por un comité interdisciplinario. El Comité de Evaluación (CE) HELP se reunió en Guayaquil, Ecuador (26-29 de enero, 2009), para evaluar la tercera ronda de las propuestas de cuencas HELP. El comité evaluador consistió de los siguientes individuos, con una mezcla de habilidades en hidrología, ambiente, derecho y disciplinas regulatorias, así como también experiencia directa en la implementación de la filosofía HELP al nivel de base:

- Srta. Anne Browning-Aiken, Investigadora Senior y Gerente de Programa, Centro Udall para los Estudios en Política Pública, Universidad de Arizona, EEUU
- Srta. Pilar Cornejo de Grunauer, Coordinadora Regional HELP-LAC, Ecuador
- Sra. María C. Donoso, Hidróloga Regional en aquel momento, Oficina de Montevideo de la UNESCO y Despacho Regional de Ciencias en LAC, Uruguay
- Sr. Declan Hearne, Gerente de Programa, SurfAid Internacional, Indonesia; actualmente coordinador de HELP en Davao
- Srta. Sarah Hendry, Abogada en Recursos Hídricos, Derecho Hídrico, Política y Ciencia de UNESCO-PHI HELP, Universidad de Dundee, Reino Unido
- Sr. Tariq Rana, Investigador Hidrólogo, División de Tierra y Agua, CSIRO; actualmente Asistente Director, Planificación de Agua Subterránea, Autoridad de Cuencas de Murray Darling, Australia

Las asuntos clave emergentes del proceso de evaluación de propuestas por el CE servirán de guía para las deliberaciones sobre el futuro de HELP durante el 2do Simposio Internacional HELP, titulado "Construyendo Puentes de Conocimientos para un Futuro Hídrico Sostenible", a llevarse a cabo en noviembre 21-24, 2011 en la Ciudad de Panamá, Panamá. Estos asuntos clave incluyen:

- Sostenibilidad de la organización proponente y de la respectiva cuenca hidrográfica para la inclusión en el programa HELP
- Relevancia de los problemas establecidos, propósitos y resultados del programa HELP
- Aptitud y viabilidad de las actividades propuestas
- Confirmación del compromiso para proveer recursos y cooperación
- Contribución a la promoción de los valores de HELP

Luego de la reunión del CE, una retroalimentación personalizada fue provista a los proponentes de cuencas. Un Foro de HELP en LinkedIn también fue establecido para mantener discusiones respecto a la filosofía HELP y para responder interrogantes.[2]

3 Observaciones clave sobre las Cuencas HELP

Escala del área: Con el tamaño de las cuencas variando desde muy pequeñas hasta varios millones de km^2, los objetivos del programa también variaron considerablemente. Algunos proyectos de HELP únicamente se enfocan en áreas más pequeñas dentro de las cuencas, permitiendo un contacto cercano con los interesados. Sin embargo, aumentar el aprendizaje biofísico, social, económico e integral en gran escala continua siendo un reto. HELP necesita enfocarse en metodologías para enfrentar problemas de escala.

Proponentes: La mayoría de los equipos de los proyectos provienen de universidades o instituciones de investigación, excepto en América Latina, con únicamente unos cuantos miembros de agencias hídricas gubernamentales. Se observó que HELP necesita promover sus metas a los departamentos de gobierno, y precisa ir más allá de los proyectos a corto plazo. Igualmente, existe la necesidad de involucrar a las ONGs y a organizaciones de los sectores público y privado.

Agencias de administración de recursos hídricos: Cada vez más agentes reguladores se involucran en HELP, y por lo tanto representan un grupo objetivo importante para los esfuerzos de HELP en el contexto de leyes y políticas ambientales e hídricas nacionales.

Participación de los interesados: El agua es un asunto de todos, y por tanto la necesidad de definir cuidadosamente a los interesados en un amplio rango de niveles e involucrarlos apropiadamente. HELP necesita contemplar un abanico completo de interesados. Cómo empoderar a los interesados locales para asegurar la participación pública en leyes y política, y en la planificación e implementación de proyectos, sigue siendo un gran problema común a todas las cuencas. Existe la necesidad de un aprendizaje social muy puntual, tal como la gestión paralela (twinning) de cuencas trayendo a la luz las mejores prácticas –esta es un área importante de acción para HELP. Existe la necesidad de efectuar acciones sostenidas de capacitación local en un mundo rápidamente cambiante. Muchas propuestas fueron débiles en involucrar el compromiso de interesados no institucionales, y atender en problemas de vida y supervivencia. Muchos proponentes han reconocido la necesidad de crear enlaces entre la ciencia, las leyes y las políticas, pero no fueron necesariamente explícitos sobre cómo activar y mejorar dichos enlaces.

Definiendo los problemas de HELP: Aunque la mayoría de las propuestas hicieron un buen trabajo en definir los problemas de su cuenca, esto no siempre se reflejó en los programas de actividades. Es importante que la toma de conciencia sobre estos problemas se traduzca en investigaciones y acciones apropiadas.

Propósito, rendimiento y actividades: HELP necesita poder evolucionar de proyectos individuales de investigación hacia procesos de planificación de cuenca para asegurar la continuidad y la sostenibilidad de las actividades dentro de la visión compartida de la cuenca a largo plazo.

Promotores externos de cuencas HELP: Los promotores externos de cuenca parecen ser catalizadores fundamentales para el éxito y continuidad de las actividades de HELP. Las partes interesadas locales deberán amoldarse y apropiarse de los principios de HELP para asegurar la continuidad y reducir la dependencia en un único promotor.

Monitoreo y evaluación: Existe una necesidad de monitorear y evaluar el impacto de los planes de HELP en el contexto del monitoreo y procesos de evaluación propios de la cuenca.

2 Disponible en línea en: www.linkedin.com/groups/UNESCO-IHP-HELP-3911032.

Equipos de cuenca HELP: Algunos equipos de cuenca de HELP no reflejaron el abanico completo de las habilidades requeridas para implementar la filosofía HELP.

Presupuestos y fondos: La mayora de los fondos para las acciones relacionadas con HELP parecen ser basados en proyectos, y existe una necesidad para la integración continuada con reguladores de cuenca para asegurar la sostenibilidad y la continuidad de los esfuerzos de HELP. Enlaces creativos con entidades y programas apropiados son fundamentales para apalancar los fondos y el apoyo en especie, para avanzar y llevar hacia adelante la agenda de HELP. En algunas cuencas, el voluntariado fue responsable por adentrar la filosofía de HELP en los planes de las autoridades locales.

Gestión paralela: Existe un número de oportunidades de gestión paralela entre cuencas con problemas y experiencias similares. Esto puede ser una manera práctica y efectiva de promover la filosofía de HELP y de apoyar a las cuencas. Evaluaciones comparativas de las herramientas de manejo hídrico, tales como sistemas de apoyo a la toma de decisiones, sitios web, equipos de herramientas, etc., en las cuencas de HELP (compartir experiencias ayuda en la evaluación) pueden acortar la escala de tiempos en la implementación de la GIRH. Evaluaciones comparativas de métodos de monitoreo y evaluación necesitan ser promovidos, especialmente en el contexto del manejo adaptativo y la construcción de capital social en las cuencas HELP.

Indicadores: Existe una necesidad de contar con indicadores apropiados para monitorear el progreso hacia la GIRH. Las cuencas de HELP pueden facilitar la evaluación objetiva de los indicadores de GIRH en las fases futuras de HELP. Existe también una necesidad para identificar las cuencas de HELP que son apropiadas para monitorear el progreso hacia las Metas del Desarrollo del Milenio en el 2015.

Periodo de ejecución: La mayoría de las intervenciones de HELP son planificadas para durar de 3 a 4 años únicamente, reflejando una escala de tiempo realista para los fondos actualmente disponibles.

Enlaces entrecruzados de Programas: Existe una sinergia considerable entre las intervenciones planificadas de HELP y un número de otros programas nacionales e internacionales. En particular es deseada una colaboración cercana en el contexto de las actividades de PHI-VII, tanto a los niveles regionales como globales. Las cuencas hidrográficas presentadas por las instituciones académicas / ONGs presentan un reto en términos de la continuidad de acciones propuestas, y consiguientemente de su sostenibilidad; estas deben ser estimuladas a establecer mecanismos de colaboración con instituciones oficiales existentes (por ej., Gobiernos locales y/o regionales, Comités Nacionales del PHI).

Documentando y compartiendo los procesos de HELP: Existe una necesidad de capturar el aprendizaje HELP al elaborar mecanismos colaborativos y en involucrar el abanico completo de los interesados en formatos apropiados que permitan compartir ampliamente la filosofía de HELP como un sendero para la implementación de la GIRH. Un número existente de cuencas están listas para documentar estos procesos en colaboración con un número de socios.

4 Áreas de acción prioritaria para 2009-2013

Abordando el cambio climático como una preocupación común: Gestionar los recursos hídricos bajo la variabilidad y el cambio climático (cuánto, hasta dónde, cuán largo) y cómo este afectará a las personas en las cuencas hidrográficas parece ser de gran interés para un número de cuencas. Existe la necesidad de realizar capacitación en un amplio rango de niveles (ciencia, organización y comunidad) para ayudar a traducir los impactos climáticos en decisiones locales para engendrar acciones costo efectivas. Parece ser que en la mayoría de las cuencas la variabilidad y el cambio

climático son problemas importantes, por lo que las opciones de adaptación local necesitan ser desarrolladas como parte de los planes de la GIRH –esto tiene un carácter prioritario. Los eventos de inundación y sequía necesitan ser considerados como parte de las realidades locales sociales, económicas y ambientales, tomando responsabilidad por las acciones locales que contribuyen al manejo de extremos a niveles de cuenca y a nivel nacional, en lugar de atribuir los problemas a las fuerzas motrices globales.

Fortaleciendo la gobernanza hídrica: La administración hídrica, su gobernanza y el manejo de las expectativas de los usuarios necesitan ser considerados en el contexto del desarrollo sostenible actual y futuro, así como los regímenes hidroclimáticos de las cuencas. Por lo tanto HELP es muy relevante para la agenda local de desarrollo. Algunas cuencas poseen un muy buen acceso a los datos y modelos, y muchas veces buenas redes académicas y buenos enlaces a grupos institucionales interesados (gobierno, reguladores, agencias). Existe un creciente reconocimiento de que gobierno y participación son problemas emergentes en varias cuencas. La Directriz del Marco Europeo Hídrico está teniendo un impacto significativo en las cuencas hidrográficas europeas, tanto como en las latinoamericanas y del Caribe, y es un vehículo para la recolección de datos, para la participación obligatoria y el desarrollo de planes de cuencas hidrográficas donde actualmente no existen.

Promoviendo la administración hídrica multipropósito: Existen nuevas consideraciones para la asignación del agua considerando los servicios sociales, económicos y ambientales, desde la superficial a la subterránea. Esto necesita ser reflejado en las políticas y leyes hídricas. HELP también necesita enfocarse en estrategias para mejorar la interface rural-urbana y reducir conflictos/competencias en un amplio rango de niveles. Algunas cuencas son transfronterizas, lo cual afecta la recolección de datos, la elaboración de un consenso y el desarrollo de las herramientas de GIRH.

Incorporando la calidad del agua dentro de la planificación de la GIRH: Muchas cuencas hidrográficas han mencionado problemas significativos con la calidad del agua debido a la agricultura y los desechos industriales, así como también con su cantidad. Esto podría llevar al deterioro de la salud humana causado por la contaminación, y también a escasez de agua y frecuentes inundaciones. Por lo tanto, necesitamos incluir las preocupaciones por la calidad del agua dentro del marco de procesos de la GIRH.

5 El camino hacia adelante

La evaluación de las propuestas de la tercera fase de la red HELP mostró claramente las complejas interdependencias dentro y fuera del sistema hídrico. La gestión paralela de cuencas hidrográficas de HELP podría promover una plataforma administrativa hídrica transparente y contable, la cual puede construir puentes entre los diferentes sectores hídricos (Fig. 2). Esto apuntará a mejores resoluciones para un futuro hídrico socialmente aceptable, científicamente creíble y económicamente viable en las cuencas hidrográficas.

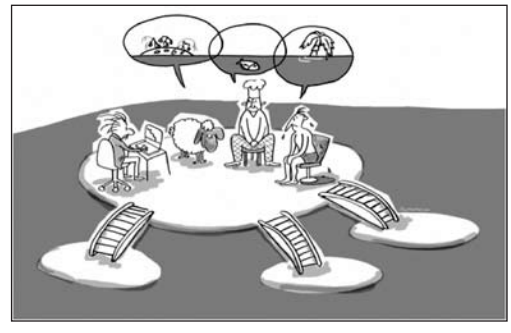


Fig. 2 Construyendo puentes de comunicación para resolver terribles problemas hídricos.
Fuente: *Khan, et al*., 2010.

Agradecimientos

El autor agradece las propuestas por los miembros de la red HELP, así como las deliberaciones y las síntesis perspicaces de los miembros del Comité de Evaluación de HELP.

REFERENCIAS

Khan, S. (2008) Turning concepts into community driven catchment water management solutions: Foreword to the special HELP edition *Water SA* **34** (4):429-431

Khan, S., Savenije, H., Demuth, S. and Hubert P. (2010) Tools for Analysing Hydrocomplexity and Solving Wicked Water Problems: A Synthesis. En: *Hydrocomplexity: New Tools for Solving Wicked Water Problems* (Khan, S., Savenije, H., Demuth, S. and Hubert, P. eds.) Pages 1-12.

1. Impactos del cambio global en las cuencas hidrográficas

Análisis institucional de la gestión del agua, la política federal, y la dinámica entre actores gubernamentales y no-gubernamentales en la solución de problemas

ANNE BROWNING-AIKEN Y ERNESTO PERLA PLIEGO
University of Arizona. USA
browning@email.arizona.edu

Resumen El potencial de las crisis que surgen en el servicio inadecuado del agua y las deficiencias de los ecosistemas aumentan cuando la política económica contradice los esfuerzos locales para mantener la salud de la comunidad, cuando las instituciones gubernamentales del agua no tienen ni los recursos ni la oportunidad de comprometerse con la comunidad, y cuando la historia cultural local ha provocado un sentimiento del derecho público al agua. Analizamos la capacidad de las instituciones mexicanas de los recursos hídricos, desde el nivel local hasta el federal, para hacerle frente a los retos económicos, técnicos y culturales dentro de la dinámica de resolución de problemas por parte de los actores gubernamentales y no-gubernamentales. Demostramos que el agua en México y las reformas mineras han llevado a la ciudad de Cananea, Sonora, a un callejón sin salida en cuanto a desarrollo, en el que los actores institucionales y las partes interesadas en el tema del agua no son capaces de reparar un sistema de suministro de agua que se ha roto, o de evitar que la *E. coli* y los metales pesados entren al sistema de agua.

Palabras clave agua; análisis institucional; política del agua; crisis del agua Regional en Cananea, Sonora, Norte de México

1 Introducción

Para el norte de México, el agua se ha ido convirtiendo en un valor estratégico, conforme el desarrollo económico y la migración contribuye al crecimiento exponencial (Lorey, 1999). La expansión de la industria minera y la privatización de los sistemas municipales de agua han complicado la gestión y distribución de agua en el norte de México, mientras que la intensificación de la agricultura, asociada con el aumento de la penetración del capitalismo global y las empresas transnacionales en los últimos veinte años han agotado aún más los recursos hídricos (Browning-Aiken, 2011). Sin embargo, el acceso al agua en las zonas áridas del norte de México es la clave para la sostenibilidad del desarrollo regional municipal y agrícola.

Además, la apertura neoliberal de libre comercio ha reestructurado la forma en que los recursos hídricos son gestionados. Mientras que las preocupaciones de sostenibilidad están codificadas en la Ley de Aguas Nacionales, y en los reglamentos se refleja el deseo de México de promover una "nueva cultura del agua", la aplicación de la sostenibilidad es en gran parte delegada a los nuevos administradores del agua, con poca ayuda de los gobiernos estatales y federales.

La mayoría de las personas que viven en la cuenca de la parte de Sonora residen en la ciudad de Cananea, hogar de una de las mayores minas de cobre a cielo abierto en el mundo. La mina, que emplea a un 70 por ciento de los habitantes de Cananea, controla el uso del agua en la cabecera del río San Pedro (Sprouse, 2005) y representa el principal usuario de agua en toda la cuenca transfronteriza (Browning-Aiken, 2003, 2004). Para el 2006, la proliferación de bombas a lo largo del río, iniciada en 1990, había reducido el flujo en la zona ribereña a un 53 por ciento.

En marzo de 1990, la empresa minera le transfirió la gestión del servicio de agua al gobierno municipal (ayuntamiento), la cual a su vez le transfirió la gestión del agua al gobierno del estado de Sonora, debido a la falta de fondos municipales y de conocimientos técnicos. La empresa del agua denominada Patronato de Agua de Cananea (PAC), ha sido administrada desde entonces por la Comisión

Estatal del Agua (CEA) de Sonora (Pliego, 2008). Esta situación fue adicionalmente respaldada por la Ley de Aguas Nacionales de México de 1992, que transfirió la mayor parte de la responsabilidad de la gestión del agua a los estados y a las comunidades locales, como parte de la gestión descentralizada neoliberal de la minería y el agua. A pesar del cambio de política, el tema de la gestión del agua se mantuvo jerárquicamente de arriba hacia abajo, con muy poca participación del público; el PAC luchó a todo lo largo contar "la existencia simultánea (y contradictoria) de la descentralización de la gestión del agua, y con la asignación centralizada de los recursos" (Pineda, 2008: 65).

El PAC trató de aumentar los pagos del agua residencial para poder reparar los viejos equipos originalmente instalados en la década de 1930 y cubrir los costos de administración, pero los residentes de Cananea protestaron porque pensaban que, ya sea la mina o el gobierno federal, deberían pagar por la gestión y administración del agua de la comunidad. Como resultado, durante el período comprendido entre 1990 y 1998, el PAC sólo pudo cobrar alrededor del 35 por ciento de sus cuentas, y el sistema continuó descompuesto. Dos encuestas realizadas en 2001 y 2007 indicaron que la mayoría de los residentes urbanos y los campesinos pensaban que el río San Pedro estaba demasiado contaminado con metales pesados y con E. coli para ser utilizado en los cultivos, y además, que la falta de agua potable confiable debido a las frecuentes averías del servicio había ido en aumento. Una tercera encuesta indicó el potencial de graves problemas de salud debido a la presencia de metales pesados y contaminantes orgánicos en el acuífero de San Pedro, localizado en parte de la ciudad (Gómez-Álvarez, et al., 2009).

A nivel estatal, Sonora tiene problemas mayores y más costosos que tratar. La capital del estado, Hermosillo, que depende del agua almacenada en el río Sonora y del agua subterránea de Costa de Hermosillo, es el foco de una lucha entre facciones municipales y productores agrícolas sobre el agua del acuífero de Costa de Hermosillo (Moreno Vásquez, 2006). Desde una perspectiva regional, los problemas en Cananea parecen ser marginales, a la luz de las luchas por el agua en Hermosillo.

2 La lucha por el poder político sobre la tierra y el agua

"El agua urbana constituye un punto de ventaja desde el cual podemos estudiar y evaluar el desarrollo político. Dado que el agua se posiciona como un instrumento de poder, la manera como se toman las decisiones sobre el agua y cómo se gestiona el agua apunta a aspectos críticos en las relaciones intergubernamentales del gobierno local, y a insumos de abajo hacia arriba para la formulación de políticas" (Pineda, 1999). Por ejemplo, en 1999-2000, el entonces Secretario del Interior, Bruce Babbitt, y el Secretario mexicano de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Julia Carabias firmaron una declaración conjunta llamada la Iniciativa San Pedro, que formalizaba el intercambio de fondos, la información y conocimiento sobre conservación a través de la frontera para una nueva Reserva. $1,5 millones debían provenir de intereses privados de los EE.UU. (Departamento del Interior de los EE.UU., 2000), pero la hostilidad ante dicha iniciativa se mantuvo entre la empresa minera mexicana y los ganaderos, ya que estos pensaban que los EE.UU. podría tomar el control de la zona. La Reserva, el Área de Conservación Nacional Ribereña de San Pedro (SPRNCA, por sus siglas en inglés), fue creada en la parte de EE.UU., pero no en el lado mexicano.

3 Análisis institucional

La nueva economía institucional se centra en las estructuras institucionales que rigen el comportamiento económico, en particular los costos de transacción que soportan el análisis institucional y la determinación de las perspectivas de cambio institucional (Challen, 2001: 3-6). Hay tres tipos de estructuras institucionales que intervienen en los costos de transacción: los derechos de propiedad,

los sistemas de derecho y los mecanismos para el ajuste de las asignaciones de recursos. El agua se considera en México como propiedad del Estado, lo que significa que la agencia del gobierno federal CONAGUA es la única que puede asignar derechos de aguas subterráneas o superficiales. La agencia de agua comunitaria PAC asigna el agua a la ciudad y a la mina, ambas de las cuales están localizadas en el origen de los ríos San Pedro y Sonora. Cuestiones de derecho en la parte mexicana de la cuenca emergen con mayor fuerza en las creencias de los residentes locales de Cananea, que consideran el agua como un derecho tradicional y posiblemente, un derecho constitucional. Estas creencias se basan en el estatus de la comunidad como un pueblo minero (es decir, un "company town") en la cual el suministro de agua, y frecuentemente de otros servicios públicos, típicamente implica poco o ningún costo para los residentes. Desde la década de 1990, cuando la propiedad de la mina cambió de manos públicas a manos privadas, el sentido local de estos derechos entró directamente en conflicto con las políticas a nivel estatal y federal, que hacen hincapié en la financiación local, y sobre todo privada, de las operaciones de suministro municipal de agua. La situación sugiere una pobre interacción (Young, 2002) entre las instituciones que operan a nivel de los gobiernos y las que actúan a nivel doméstico, las cuales emanan de normas basadas en nociones de derecho.

Por otra parte, si comparamos los costos operativos y administrativos de la PAC de Cananea, los costos de operación y administración son tres veces mayores que lo cobrado por el servicio. Las facturas de agua doméstica se pagaron a un promedio de eficiencia comercial de tan solo 36.3 por ciento para el año 2007. El director del agua trabaja dentro de un círculo vicioso, donde los problemas de servicio son una queja diaria de la comunidad, pero al mismo tiempo son imposibles de reparar, debido al pobre historial de pagos por el servicio de agua. Además, "las tarifas para el cobro del agua se utilizan como herramientas políticas de quienes concursan en las elecciones municipales..., algo insostenible para la gestión del agua" (Pliego, 2008: 33).

Los procedimientos de participación puedan ayudar a asegurar que los ciudadanos estén incluidos en la toma de decisiones, que todos los procesos sean transparentes y no clientelares, y que la crisis institucional no esté impulsada por los regímenes de tenencia política (Pineda, 2002). Al mismo tiempo, la participación ciudadana y los conocimientos tecnológicos son condiciones necesarias, pero no suficientes para crear un plan de gestión del agua.

Facciones políticas locales obstruyen la resolución de conflictos en torno al agua, jugando con el temor de que los temas ambientales prevalecerán sobre desarrollo económico. Se necesita un debate abierto de todas las alternativas y un enfoque de manejo adaptativo para abordar las perspectivas de las múltiples partes interesadas y para hacer de la planificación y la gestión de los recursos hídricos un proceso de aprendizaje efectivo para las partes interesadas en la cuenca.

4 Principios del diseño institucional

El análisis institucional se inspira en conceptos de diseño institucional para recursos comunes (Ostrom 1990, 2005; Ostrom, et al., 1994; Agrawal, 2002). Basándose en años de estudios de casos comparativos, Ostrom ha elaborado una serie de principios de diseño esenciales para garantizar el éxito a largo plazo en la gestión de recursos comunes. Este conjunto de principios estipula que los usuarios de los recursos deben (1) definir los límites físicos de los recursos comunes y articular sus métodos para utilizar los mismos; (2) establecer un sistema de auto-monitoreo y un sistema de resolución de conflictos; (3) estar de acuerdo en sanciones apropiadas/castigos por romper las reglas; (4) ser capaces de adaptarse a circunstancias cambiantes, y (5) ser capaces de implementar sus decisiones sin la oposición gubernamental (Ostrom, 1990: 90-102).

El diseño institucional se ve obstaculizado por una serie de factores, incluyendo la política. A pesar de la intención declarada de México de descentralizar la gestión de los recursos naturales a

nivel estatal y local, la transición ha avanzado lentamente en lo que respecta a los recursos hídricos. A las entidades locales se les anima a formar comisiones y comités de cuenca hidrográfica, con el apoyo de los funcionarios electos y representantes de los sectores de uso del agua. Este es un paso positivo, pero en ausencia de apoyo económico suficiente, son pocos los cambios institucionales que están surgiendo. Bajo estas circunstancias, México no ha establecido aún un sistema de monitoreo o un sistema de resolución de conflictos, y mucho menos ha logrado lidiar con los nuevos problemas de sequía prolongada, así como una huelga laboral que impide que la administración de las minas participe efectivamente en la gestión de las cuencas.

5 Indicadores institucionales y de vulnerabilidad legal de resistencia socio-ecológica

En los últimos años, las investigaciones demuestran que altos niveles concomitantes en el uso de agua subterránea han reducido el flujo de la corriente y probablemente hayan transformado el río a un arroyo primario efímero. Las instituciones existentes son insuficientes para el alcance y la magnitud de los problemas de gestión del agua. En ninguna parte es esto más evidente que en los esfuerzos para aplicar mecanismos de conservación de los recursos a la protección del corredor ribereño del río San Pedro, a través del desarrollo de la Reserva de Mavavi.

La vulnerabilidad de cualquier ecosistema y de los sistemas humanos de gobernabilidad diseñados para gestionar y utilizar este ecosistema como un recurso, son intrínsecamente interdependientes; los problemas en uno afectan en cadena los problemas del otro. Conflictos de (re)distribución de los derechos y responsabilidades sobre la salud de los ecosistemas se vislumbran en el horizonte, a menos que los problemas de ajuste institucional entre aquellos que se benefician y aquellos que asumen el costo sean superados. En México, los habitantes locales son incapaces de controlar los impactos de los daños industriales sobre la salud de los ecosistemas, y los organismos estatales y federales del agua no tienen la fuerza para hacer cumplir las infracciones mineras de la política ambiental (Browning-Aiken, 2000; Romero Lankao, 2007: 56). “Si bien México ha establecido las leyes e instituciones ambientales, el gasto real en el medio ambiente se contrajo... y el “acuerdo paralelo” de la institución de medio ambiente, creada para ayudar con los problemas ambientales de México, no está preparada para llenar el vacío” (Gallagher, 2004: 13).

6 Presencia de actores/organizaciones puente o de mediación

Mientras que los gobiernos municipales luchan para organizar el servicio sostenible del agua, nadie ha sugerido la manera de resolver conflictos. Cuando múltiples actores, sectores e intereses especiales están involucrados, se necesita conseguir una persona o grupo con la capacidad de moderar el conflicto. El San Pedro mexicano puede necesitar un “puente” o ayuda mediadora para abordar estos temas complejos entre un gran número de actores.

7 Respuestas posibles a problemas de escala

Desajustes de escala, especialmente entre la gestión ambiental y la gestión de los recursos hídricos, pueden contribuir a una disminución de la capacidad de resistencia socio-ecológica, incluyendo la mala gestión de los recursos naturales y una disminución en el bienestar humano. En San Pedro, México, el desarrollo económico es un tema más privilegiado que el de la conservación de los recursos naturales o del medio ambiente. Con el fin de reparar este desequilibrio, una coordinación sería necesaria en todos los niveles del gobierno, entre el agua como recurso natural y el medio ambiente. Además, las soluciones a largo plazo para los desajustes de escala dependen también del

aprendizaje social y del desarrollo de instituciones flexibles que puedan adaptarse y reorganizarse en respuesta a los cambios en los ecosistemas. El aprendizaje social o colaborativo/colectivo es un proceso integrado en las instituciones, en los cuales los participantes institucionales aprenden a entender los valores de los demás participantes en la toma de decisiones, y los participantes aprenden de los científicos cómo funcionan los socio-ecosistemas (Cumming, et al., (2006); Folke, et al., 2007; Tomkins y Adger, 2004). Con frecuencia, las instituciones fronterizas o los mediadores pueden ayudar a facilitar este proceso de formación de la gobernabilidad de la cuenca hidrográfica.

8 Entrenamiento de administradores de la Nueva Cultura del Agua

El caciquismo y el patrón-clientelismo como un núcleo de poder local y regional "continúa generando mecanismos importantes para mantener el poder" (Peña, 1989). Los directores de COAPAES en Cananea y Naco fueron seleccionados por su patrocinio político, en lugar de su educación y formación en la gestión del agua. En 2007, el Colegio de Sonora creo un programa de Gestión Integrada de Cuencas Hidrológicas, para encarar la política de gobernanza de cuencas hidrográficas y la gestión integrada de recursos hidrológicos (Moreno y Martínez, 2005). Pliego, uno de los co-autores de trabajo, es uno de los graduados de este programa.

REFERENCIAS

Adger, W. Neil. (2000) Social and Ecological Resilience: Are They Related? *Progress in Human Geography* 24 (3): 347-364.

Agrawal, A. (2002) Common resources and institutional sustainability. In *The Drama of the Commons*, pp41-85, eds.E. Ostrom, T. Dietz, N. Dolsak, P. Stern, S. Stonich and E. Weber. Washington, D.C. National Academy Press.

Browning-Aiken, Anne. (2011) Disjuncture between Economic Policy and Sustainable Use of Natural Resources: Water Case Studies in Sonora, Mexico. En *Neoliberalism and Commodity Production in Mexico*, eds. Thomas Weaver, Anne Browning-Aiken, James Greenberg, and William Alexander. Colorado State Press.

Browning-Aiken, Anne. (2000) *The Transformation of Mexican Copper Miners: The Dynamics of the Transformation of Mexican Copper Miners: The Dynamics of Social Agency and Mineral Policy as Economic Development Tools*. Disertación de doctorado. Tucson: University of Arizona.

Challen, Ray. (2001) *Economic Analysis of Alternative Institutional Structures for Governance of Water Use*. Trabajo invitado a la 45th Conference of the Australian Agricultural and Resource Economic Society, Adelaide, Australia. 23-25 de enero.

Cumming, Graeme S, David H. M. Cumming, y Charles L Redman. 2006. Scale Mismatches in Social-Ecological Systems: Causes, Consequences, and Solutions. *Ecology and Society* 11(1).

Folke, Carl. (2006) Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16: 253–267.

Gomez-Alvarez, Augustin, Diana Meza Figueroa, Arturo I. Villalba-Atondo, Jesus Leobardo Valenzuela-Garcia, Jorge Ramirez-Hernandez y Javier Almendaris-Tapia. (2009) Estimation of Potential Pollution from Mine Tailings in the San Pedro River, 1993-2005. *Environmental Geology* 57: 1469-1479.

Herrera-Carbajal, Socorro, Arturo I. Vilaba-Atondo, y Martin Molinar-Tabares. (2007) Modelación hidrogeológica y evaluación de la sustentabilidad del acuífero transfronterizo del Río San| Pedro en Sonora, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 3(1): 21-30.

Lorey, David. (1999) *The U.S.-Mexico Border in the Twentieth Century*. Wilmington, Delaware: Scholarly Resources, Inc.

Moote, Anne y M. Gutiérrez. (2001) *Views from the Upper San Pedro River Basin: local perceptions of water issues*. University of Arizona Udall Center for Studies in Public Policy, Tucson, Arizona.

Moreno Vasquez, José Luis. (2006) *Por Abajo del agua: Sobreexplotación y agotamiento del acuífero de la Costa de Hermosillo, 1945-2005*. Hermosillo: Colegio de Sonora.

Ostrom, Elinor. (2009) A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science* 325 (5939): 419-422

Pineda Pablos, Nicolás, Anne Browning-Aiken, y Margaret Wilder. (2007) Equilibrio de bajo nivel y manejo urbano del agua en Cananea, Sonora. *La Frontera Norte* 19 (37) 143-172.

Pliego Ernesto Perla. (2008) Tarifas autosuficientes para la prestación del servicio de agua potable Caso: Comisión Estatal del Agua Unidad Operativa Cananea, Sonora. Tesis de maestría en el Colegio de Sonora.

Scott, Christopher A.; Banister, Jeff M. (2008) The Dilemma of Water Management 'Regionalization' in Mexico under Centralized Resource Allocation. *International Journal of Water Resources Development* 24(1):61-74.

Tamayo-Flores, Rafael. (2006) NAFTA-Driven Changes in the Regional Pattern of Economic Growth in Northern Mexico: Profile and Determinants. En *Changing Structure of Mexico: Political, Social, and Economic Prospects*, pp. 119-139. Ed. Laura Randall, London and NY: M. E. Sharpe.

Young, Oran B. Leslie A. King, y Heikeschroeder, eds. (2008) *Summary for Policy Makers. In Institutions and Environmental Change: Principal Findings, Applications, and Research Frontiers* pp. xiii-xix.. Cambridge: MIT Press.

Wilder, Margaret y Scott Whiteford. (2006) Flowing Uphill Toward Money: Groundwater Management and Ejidal Producers in Mexico's Free Trade Environment. En *Changing Structure of Mexico: Political, Social and Economic Prospects*, pp 342-358. Londres: M.E. Sharpe.

Medidas de adaptación al cambio climático en la cuenca binacional del Río Sixaola: construyendo capacidad de gobernanza desde el nivel local al nacional y regional, Costa Rica – Panamá

ARIEL AMOROSO
UICN Mesoamérica e Iniciativa Caribe
ariel.amoroso@iucn.org

Resumen La cuenca binacional del río Sixaola tiene una extensión de 280 mil hectáreas, y está ubicada en la vertiente Caribe de la frontera entre Costa Rica y Panamá. En las comarcas indígenas Bribri de la parte media de la cuenca se produce granos básicos, cacao y banano orgánico asociados con bosque húmedo tropical. Los sistemas productivos que se encuentran en la parte baja de la cuenca son plátano tradicional, cultivado por pequeños productores, y grandes plantaciones de banano a cargo de empresas transnacionales. Las principales amenazas climáticas que se presentan en esta región están relacionadas con fuertes lluvias, y en menor medida con períodos muy secos. Algunos escenarios de cambio climático proyectados para esta región coinciden con el testimonio de sus habitantes a nivel local en que tanto lluvias como sequías han aumentado en intensidad, y la variabilidad del clima se ha vuelto impredecible. Los impactos provocados por estos fenómenos climáticos varían de acuerdo con los ecosistemas asociados y los medios de vida de las comunidades presentes. Con el fin de evaluar estos impactos, en el marco del proyecto "buena gobernanza del agua para la adaptación" que coordina la UICN, se ha aplicado herramientas participativas que tuvieron como resultado la elaboración planes de adaptación al cambio climático a nivel local. Las medidas de adaptación seleccionadas durante el proceso de elaboración de dichos planes se agrupan en tres componentes: recuperación de ecosistemas protectores de manantiales y de llanuras de inundación, agrodiversificación como alternativa ante el aumento en la incidencia de plagas en cultivos tradicionales, y por último fortalecimiento de la capacidad de gobernanza del agua. Para la aplicación de las medidas de adaptación fueron seleccionados dos sitios piloto: las subcuencas Sixaola Medio y el Bajo Yorkín. La estrategia de adaptación formulada por el proyecto tiene un enfoque de trabajo coordinado a nivel local y regional, para lo cual realiza gestiones en el proceso de implementación tanto con organizaciones de base comunitarias y autoridades indígenas, como con la Comisión Binacional para la cuenca del río Sixaola y la Secretaría del Convenio Transfronterizo Costa Rica Panamá firmado por ambos países.

Palabras clave cuenca; enfoque de ecosistemas; gobernanza del agua; adaptación al cambio climático; medios de vida

Cambio climático e impacto antropogénico sobre los recursos hídricos de los montes del Líbano

A. SHABAN Y T. DARWICH
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas, Centro de Sensores Remotos, Beirut, Líbano
geoamin@gmail.com

Resumen Los montes del Líbano, los mayores de su tipo en la región de Oriente Medio, están constituidos sobre las mayores reservas de agua superficial y subterránea del Líbano. Están localizados sobre áreas con altas tasas de lluvia (>1200m), y con la nieve que queda en sus laderas y depresiones la mayor parte del año, contribuyen en gran medida a la alimentación de los ríos, manantiales y acuíferos subterráneos. Estos montes se han mantenido preservados durante mucho tiempo y mantienen un ecosistema único. Sin embargo, nuevos indicadores de cambio han aparecido en las últimas décadas dada la variabilidad en las condiciones climáticas, que es exacerbada por la influencia antropogénica. Esto se refleja en los frontones de los montes en diferentes regímenes ambientales y socioeconómicos de las regiones adyacentes. En cuanto al clima, hay una obvia turbulencia en el régimen de lluvias, tanto en la intensidad de las lluvias como en el desplazamiento de los intervalos de temporadas. Un aumento en la temperatura de 1.5° C también ha sido observado. El impacto antropogénico se juzga por la degradación del ecosistema y la interrupción del régimen hidrológico. Este es causado por la excavación de paquetes de nieve, el desvío de agua de deshielo a lo largo de las laderas y la desintegración de las zonas de recargas de estos montes. A estas influencias podemos añadir la contaminación de la cubierta de nieve con desechos animales. El volumen de los recursos hídricos en las regiones circundantes a los montes se ha reducido, por lo que la descarga en muchos ríos ha descendido en un 60%, y varios manantiales se han secado o no se espera que perduren mucho tiempo. Esto, acompañado por un deterioro en la calidad del agua, ha establecido un status quo que ha cambiado tanto el ecosistema como el estilo de vida de las regiones circundantes. Sin embargo, no hay leyes para mitigar la interferencia humana descontrolada sobre los montes.

Palabras clave montañas altas; cubiertas de nieve; recarga de agua; calidad de agua; Líbano

1 Introducción

El Líbano está situado en la costa oriental del mar Mediterráneo. Se caracteriza por tres grandes unidades fisiográficas. Los dos bloques montañosos que forman la Cordillera de Monte Líbano al oeste, la del Anti-Líbano al este, y la llanura de Bekaa, que las separa. Las tres unidades están orientadas NNE-SSO (Fig. 1). Las cadenas montañosas existentes, especialmente las adyacentes al Mediterráneo, han creado una barrera climática que recibe las masas de aire frío desde el oeste, y generan una alta tasa de precipitación que supera en muchos casos los 1500 mm/año.

Debido a la alta tasa de precipitación que se suma a sus características fisiográficas, el Líbano tiene enormes recursos de agua, y ha sido descrita como la "*Torre de Agua*" del Medio Oriente. Es el único lugar geográfico en la región del Medio Oriente donde la acumulación de nieve se mantiene durante varios meses en las crestas de las montañas y cubre aproximadamente 2000 km^2. Además, el Líbano está ocupado por 12 grandes ríos (3500 millones de m^3/año), más de 2000 fuentes principales (1250 millones de m^3/año), y una reserva de agua subterránea que supera los 1500 millones de m^3/año (Shaban, 2003).

Desafortunadamente, el Líbano se ha convertido recientemente en un país con estrés hídrico. La escasez de agua se ha agravado y el déficit de agua es evidente en todas partes del territorio. A la luz de esta situación desventajosa, no obstante, el enfoque está siendo orientado al impacto de la variabilidad en las condiciones climáticas, y el crecimiento de la población es lo menos considerado. Así, los recursos hídricos disponibles están presenciando una obvia reducción volumétrica en las últimas décadas, que se estima en un 40% promedio (Shaban, 2009).

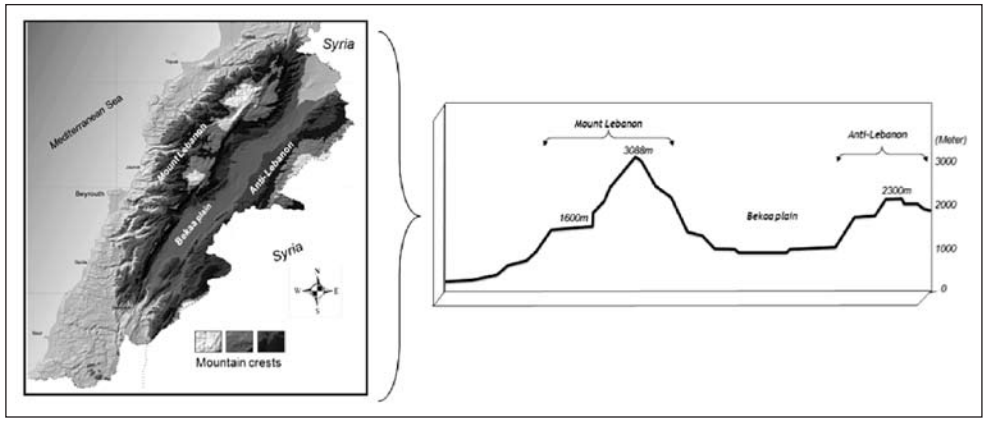


Fig. 1 Localización del Líbano.

Este estudio se centrará en los factores que influyen en los recursos hídricos en las cimas de los montes del Líbano, ya que ellos representan la mayor cuenca de captación y zonas de alimentación para las aguas superficiales y subterráneas. Se mostrará que el impacto antropogénico es mayor sobre los recursos hídricos que la variabilidad climática.

2 Materiales y métodos

Este estudio es una investigación preliminar, obtenida en el contexto de un proyecto de investigación llevado a cabo por el Consejo Nacional del Líbano para la Investigación Científica en el Líbano (CNRS). La mayor parte de la metodología seguida comprende verificaciones de campo, reportes de observaciones, y el uso de mediciones existentes relacionadas a la explotación de los recursos hídricos. Además, se analizó la calidad del agua en sitios seleccionados, en especial de agua de deshielo. Un estudio periódico de campo, casi semanal, fue realizado con el fin de poder monitorear los cambios y las aplicaciones a corto plazo.

Varias herramientas son utilizadas en este estudio, siendo las imágenes de satélite de alta resolución (1 metro) la principal herramienta para el análisis. Estas imágenes ayudaron al seguimiento de las características del terreno a pequeña escala, así como del impacto humano sobre las mismas, sobre todo en los cuerpos de agua existentes. Además, los mapas topográficos y geológicos (a escala de 1:150000) fueron analizados en detalle y se utilizaron como mapas de base durante el estudio de campo.

3 Resultados

El cambio climático y los recursos hídricos

El cambio de las condiciones climáticas es un fenómeno global y se espera que el mundo entero enfrente dramáticos cambios meteorológicos en las próximas décadas (IPCC, 2007). Sin embargo, es una fluctuación normal en el régimen de los elementos meteorológicos debido a varias oscilaciones físicas que se producen de vez en cuando. Si nos referimos a registros anteriores podemos observar estas fluctuaciones. Sin embargo, el impacto del cambio climático ha afectado recientemente a los recursos hídricos, elemento vital de la vida, y se ha considerado como un grave problema ambiental. Aun así, no existe una correlación obvia entre la falta de agua y las condiciones climáticas.

En el Líbano, la escasez de agua existe y muchas proposiciones apuntan (total o parcialmente) al cambio climático. Sin embargo, estudios obtenidos señalan un pequeño descenso en la tasa de precipitación, que se estimó en aproximadamente 50 mm en las cuatro últimas décadas. Este es un valor insignificante si se compara con la tasa de precipitación media en el Líbano, que oscila entre 850 y 950mm. Aun así, las tendencias de las precipitaciones están oscilando, con un aumento en el número de picos de lluvia, así como en un desplazamiento en el tiempo de los intervalos estacionales. En cuanto a la temperatura, se ha reportado un incremento de aproximadamente 1.5° C (Shaban, 2011).

Se ha presentado claramente una disminución en el volumen de agua de distintas fuentes, incluyendo aguas superficiales y subterráneas. Esto fue obtenido de las ilustraciones aplicadas y la interpolación de datos para las descargas de agua de los ríos, manantiales y aguas subterráneas. Por lo tanto, existe una disminución en la descarga de ríos y manantiales de entre el 10% y el 30% (algunas veces llega hasta el 60%), mientras que varios manantiales se han secado o no duran por mucho tiempo. El caso es similar para las aguas subterráneas. Por ejemplo, en el área de la cuenca hidrográfica del Río Litani se reportó una reducción promedio en la capa freática de unos 20-25 m y de 5-10 m en los dos principales acuíferos (Cenomaniano y Jurásico), respectivamente (CNRS, 2007).

Impacto antropogénico

Por lo general, el impacto sobre los recursos hídricos es directamente asociado con el cambio climático, aunque como ha sido discutido anteriormente, el impacto del cambio climático es todavía incierto y casi despreciable. Sin embargo, la intervención humana es mucho más efectiva en cambiar el régimen hidrológico, y por lo tanto en la interrupción del volumen de agua e incluso su calidad. Las cimas de las montañas del Líbano, que son las zonas de alimentación de los recursos hídricos, muestran un ejemplo típico de la intervención humana sobre los recursos hídricos. Esta interferencia tiene varios aspectos (Fig. 2).

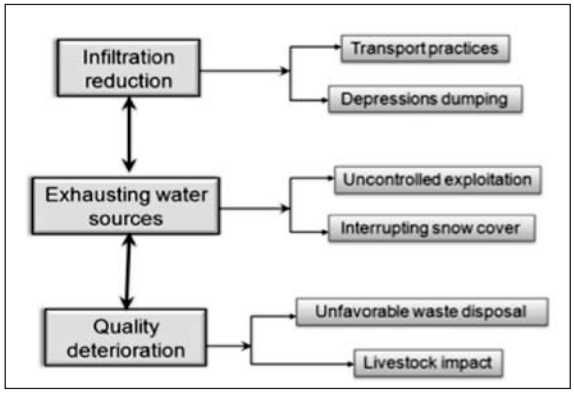


Fig. 2 Componentes principales del impacto antropogénico en las cimas de las montañas del Líbano.

Reducción de la infiltración

Las zonas superiores de las altas montañas están compuestas por rocas de carbonato duro (por ejemplo, piedra caliza y dolomita), que se caracterizan por sistemas de fracturación intensa y karstificación. Estas propiedades de hidro-estructura mejoran la capacidad de infiltración, la cual puede exceder el 45% del agua precipitada (PNUD, 1970). Sin embargo, la intervención humana ha afectado recientemente la capacidad de infiltración de estas zonas, dando así lugar a la escorrentía, a inundaciones y a un aumento de la evapotranspiración.

Dos de estas intervenciones son: las prácticas de transporte y las descargas sobre las depresiones. En la primera, los seres humanos, el transporte de herramientas, y la ganadería afectan el terreno. Su presencia aumenta la compactación de la cobertura del suelo y lo hace impermeable, por lo tanto el agua superficial tiende a quedarse en la superficie del terreno en lugar de infiltrarse en el sustrato. En la segunda, las tierras bajas existentes y las depresiones kársticas (por ejemplo, las dolinas) que forman la superficie del terreno de las altas montañas se están generalmente llenando de tierra y restos de rocas como consecuencia de las prácticas humanas y de ganadería. Esto se aplica también a las fracturas y fisuras, que son los elementos más comunes de la infiltración del agua.

Agotamiento de los recursos hídricos

Debido a la escasez exacerbada y a la creciente demanda de agua, así como a la ausencia de una adecuada gestión y legislación para la conservación de los recursos hídricos; en las regiones montañosas del Líbano ha habido un aumento en la extracción descontrolada. Esto incluye el agotamiento de los recursos hídricos sólidos y líquidos. Esto, a su vez interrumpe el régimen hidrológico y choca con el mecanismo de percolación del agua desde los medios superficiales hacia los embalses subterráneos (Shaban y Darwich, 2011), y por lo tanto afecta el almacenamiento de las aguas subterráneas. La Tabla 1 resume estos procesos.

Tabla 1 La explotación no controlada de agua en las regiones montañosas del Líbano.

Situación del agua	Fuentes	Enfoque de extracción	Impacto*
Fuentes líquidas	Agua de río	Bombeo directo y desviación del agua de las zonas de aguas arriba	Alto
	Manantiales	Explotación intensiva del agua directamente de las fuentes	
	Lagos de montaña	Bombeo directo y desviación del agua a las tierras bajas	Moderado
Fuentes sólidas	Nieve derretida	Conexión de tubos y así desviación del agua a las tierras bajas	
	Paquetes de nieve	Excavación de la nieve que se recoge en sitio para ser derretida	Ligeramente alto

**Estimado a partir de observaciones de campo.*

Deterioro de la calidad

Al igual que en las regiones más bajas, el impacto en la calidad del agua en las regiones montañosas del Líbano ha superado los límites desfavorables en las últimas décadas. Estas regiones, que representan las principales zonas de recarga de las fuentes de agua dulce, están sufriendo los efectos de la contaminación, y estos pueden ser directamente observados. Desafortunadamente, este tipo de contaminación se deriva algunas veces de las tierras bajas en las áreas vecinas. Esto es bien observado en los rellenos sanitarios de pequeña y gran escala distribuidos, y en la caótica eliminación de residuos, así como en las prácticas contaminantes resultantes del pastoreo.

En consecuencia, hay una gran cantidad de residuos sólidos siendo descargados en las regiones más remotas del Líbano debido a la ausencia de rellenos sanitarios prácticos y de planes adecuados para la eliminación de residuos. Estos residuos, en muchos casos, se derivan de regiones

remotas y se encuentra que son residuos tóxicos y biológicos. Por lo tanto, la descomposición de los mismos en el agua, la cual se infiltra en el sustrato, llegará a los embalses de aguas subterráneas. Sin embargo, en las regiones montañosas del Líbano no hay estudios empíricos realizados sobre la calidad del agua, porque es considerada como agua dulce con una calidad suficientemente pura. La única investigación que lleva el CNRS en estas regiones es sobre las propiedades físicas de la nieve, con especial énfasis en la calidad de la misma. Sus resultados preliminares muestran algunos valores anómalos (por ejemplo, pH = 7.89; conductividad = 17.76 mS/cm, salinidad = 11.22 ppm; 40300 ug/l). Sin embargo, los municipios no han adoptado medidas legales, y las preocupaciones al respecto son muy escasas.

Otro tipo de deterioro de la calidad del agua que ha aumentado recientemente en las regiones altas puede ser descrito como contaminación móvil. Esta se atribuye a los desechos del ganado y es un fenómeno muy pronunciado, en el que las manadas de ganado se mueven a los sitios fríos, en particular donde existe nieve (Fig. 3). Esto es una consecuencia de las variaciones climáticas que el ecosistema está presenciando en las zonas elevadas.

Fig. 3 Impacto de la ganadería en los parches de nieve.

Este fenómeno se está incrementando y se ha encontrado que se está agravando, especialmente cuando los animales pastorales de otras zonas vienen en épocas de sequía para establecerse en las regiones montañosas, relativamente frías. Sin embargo, esto no está sólo afectando la calidad de nieve que se derrite, sino también el proceso de bioturbación sobre las acumulaciones de nieve debido a las huellas de ganado, lo que acelera el proceso de derretimiento.

4 Conclusión y discusión

Últimamente, las preocupaciones sobre los recursos hídricos se han planteado como un problema mundial. El problema está siendo exacerbado, ya que la media de agua por persona no suele llegar a satisfacer sus necesidades básicas, y al mismo tiempo hay una falta de métodos de gestión adecuados para conservar este recurso vital. Esto no debe suceder en el Líbano, un país con enormes recursos hídricos y una alta tasa de precipitación. El cambio en la media por persona es bastante alarmante.

En Beirut, por ejemplo, ascendió de 30 a 50 a 84 a 112 a 200l/día/persona para los años 1870, 1912, 1944, 1959 y 2007, respectivamente (Fawaz, 2007). Esto indica un incremento anual de alrededor de 1,2 l/día/persona. Sin embargo, la culpa se le ha adjudicado al cambio climático y a las variaciones resultantes en el régimen hidrológico. No se ha identificado si el clima es la razón principal detrás de la escasez de agua, pero sí existe una obvia ignorancia sobre el impacto negativo, directo o indirecto, que juega el ser humano.

Sin embargo, la población Libanesa sigue nuevos procedimientos para utilizar el agua aún desde áreas remotas y escarpadas como las de las montañas. Muchas actividades humanas se han dirigido a estas áreas remotas y elevadas, donde los recursos pueden ser explotados libremente sin ningún tipo de control. Por lo tanto, nuevos asentamientos temporales han invadido las cimas de las montañas del Líbano. Ellos están degradando la cantidad y la calidad del agua, sobre todo el agua en estado sólido (es decir, la nieve).

Es sumamente importante centrarse en este problema crucial. Los cuerpos rocosos de las cimas montañosas del Líbano representan importantes reservas de agua, que son supuestamente puras y claras. Estas cimas son el terreno de base para la cubierta de nieve, una parte fundamental de los ingresos y los sitios turísticos del Líbano. Una decisión debe ser tomada, tan pronto como sea posible, por el sector gubernamental para proteger esas regiones y considerarlas como reservas naturales de los ecosistemas, así como de los recursos hídricos.

REFERENCIAS

(CNRS) National Council for Scientific Research. (2007) Final Technical Report on the project: *Towards an ecosystem approach to the sustainable management of the Litani River-Lebanon*. IDRC & CNRS & LRA and DSA.

Fawaz, M. (2007) *Towards a water policy in Lebanon.* Un libro publicado por ESIB (en árabe), Beirut, Líbano. 259p.

IPCC Report. (2007) *The Fourth Assessment Report* (AR4), 14 de marzo 2008. Disponible en: http://www.ipcc.ch/

Shaban, A. (2003) *Etude de l'hydroélogie au Liban Occidental: Utilisation de la télédétection*. Tesis de doctorado, Bordeaux 1 Université. 202p.

Shaban, A. (2009) Indicators and aspects of hydrological drought in Lebanon. *Water Resources Management Journal* 23: 1875-1891.

Shaban, A. (2011) Analyzing climatic and hydrologic trends in Lebanon. *Journal of Environmental Science and Engineering* 3 (5).

Shaban, A. and Dawrich, T. (2011) The role of sinkholes in groundwater recharge in mountain crests of Lebanon. Environmental Hydrology Journal 19 (9).

UNDP. (1970) *Liban : Étude des eaux souterraines. Programme des Nations Unies pour le développement*, N.Y. DP/SF/UN, 44, 185p.

Reconstrucción histórica del caudal en el noroeste de Argentina con base en registros dendrocronológicos

EDUARDO A. FLAMENCO[1], RICARDO VILLALBA[2] Y RAFAEL O. RODRIGUEZ[1]

1. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Clima y Agua, Buenos Aires, Argentina*
   eflamenco@cnia.inta.gov.ar
2. *Departamento de Dendrocronología e Historia Ambiental, IANIGLA, CONICET, Mendoza, Argentina*

Resumen Para estudiar el clima y su variación espacio-temporal, así como para determinar el grado en que los factores naturales y humanos contribuyen a esta variabilidad, se requiere del conocimiento de series temporales a largo plazo. Si se quisiese realizar un análisis de la variabilidad climática basado en series hidrometeorológicas instrumentales, éste sería muy limitado, debido a que estos registros, al menos en Argentina, y particularmente en el noroeste, son de extensión muy reducida, no superando los 60 años. La Dendrocronología es una de las disciplinas apropiadas para extender las series de las variables climáticas, ya que permite la reconstrucción de los eventos climáticos, volcánicos, arqueológicos y ambientales a partir del crecimiento de los anillos de los árboles, un indicador de alta resolución que ofrece series continuas, precisamente fechadas, con un nivel de resolución anual. En este estudio, el crecimiento anual de los anillos de las especies nogal nativo (Juglans australis Griseb) y cedro Tucumán (Cedrela lilloi C. DC) han permitido reconstruir la serie de caudales estacionales desde el año 1791 en una cuenca hidrológica del noroeste de Argentina. Se ha elegido esta variable ya que es un excelente indicador del ciclo hidrológico de la naturaleza, que integra la precipitación, infiltración y evapotranspiración en grandes áreas. Para vincular los caudales y el crecimiento anual de los anillos se utilizó una rama de la Inteligencia Artificial conocida como Redes Neuronales Artificiales.

Palabras clave dendrocronología; variabilidad del clima; caudal; redes neuronales artificiales

1 Introducción

Para estudiar el clima y su variación espacio-temporal, así como para determinar el grado en que los factores naturales y humanos contribuyen a esta variabilidad, se requiere contar con series temporales a largo plazo que pueden ir desde siglos a milenios. Si se quisiese realizar un análisis de la variabilidad climática basado en series hidrometeorológicas instrumentales, este sería muy limitado debido a que los registros de caudal, al menos en Argentina, particularmente en la extensión noroeste, son de reducida extensión, raramente superando los 60 años.

La Dendrocronología es una valiosa herramienta para extender la serie de variables hidroclimáticas, ya que las variaciones interanuales en el espesor de crecimiento de los árboles están relacionadas con las fluctuaciones climáticas. El cofechado (cross dating) es la herramienta básica de la Dendrocronología. Consiste en comparar las variaciones en el ancho de los anillos de muestras de árboles vivos y muertos, lo que permite identificar el año exacto en el que se formó cada anillo (Fritts, 1976). Por lo tanto, esta disciplina puede generar registros con una precisión anual, continuos en el tiempo, y que pueden llegar a extenderse eventualmente por miles de años.

El crecimiento de los árboles en ambientes semiáridos representa un balance entre la precipitación y las pérdidas por evapotranspiración; por lo tanto, en muchos casos, el ancho de los anillos ha sido utilizado como un indicador de las variaciones estacionales o anuales de la escorrentía de una cuenca (Stockton y Jacoby, 1976, Holmes, *et a*l., 1979; Cobos y Boninsegna, 1983, Meko, *et al*., 1995; Lara, *et al*., en imprenta).

Como ejemplo de su importancia, se menciona el estudio de Stockton y Jacoby (1976), que permitió explicar por qué la gente de Mesa Verde, Colorado, abandonó sus ciudades y se trasladó a otros sitios por la falta de agua; así como el realizado por el Instituto Max Planck para la Investigación del Sistema Solar (Solanki, *et al*., 2004) para determinar el contenido del isótopo radioactivo Carbono

14 (^{14}C) atrapado en los anillos de los árboles y en función del mismo estimar y reconstruir la actividad relativa a las manchas solares desde 11.400 años atrás, con el fin de evaluar la influencia que tiene la actividad solar sobre el clima global.

Por lo tanto, es de interés el uso de indicadores o de registros ambientales de alta resolución que puedan permitir la reconstrucción a largo plazo del clima, lo que facilitará la posibilidad de determinar los ciclos naturales del cambio climático y la manera en que han sido afectados por las actividades humanas en los últimos 150-200 años.

En este estudio se utilizaron los anillos de árboles, un indicador de alta resolución que proporciona series continuas, datadas con precisión a un nivel de resolución anual, para reconstruir el caudal del Río San Francisco, un afluente del Río Bermejo, en el noroeste de Argentina. Las series dendrocronológicas de las especies leñosas nogal nativo (*Juglans australis* Griseb) y cedro Tucumán (*Cedrela lilloi* C. DC) cultivados en la región, han permitido la reconstrucción de una serie de caudales estacionales del Río San Francisco. Las variaciones interanuales de los anillos de crecimiento de estas especies están fuertemente correlacionadas con las variaciones regionales de temperatura y precipitación (Villalba, *et al*., 1992, 1998) y constituyen una representación del ciclo hidrológico regional, que integra precipitación, infiltración y evapotranspiración en las áreas de crecimiento.

2 Materiales y métodos

La data mensual del caudal (1947-2002) ha sido proporcionada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentinal. Las precipitaciones a escala mensual provienen de fuentes como Agua y Energía Eléctrica, Ferrocarril General Belgrano, Dirección General de Aguas de Salta y el Servicio Meteorológico Nacional.

Las cronologías de anillos de árboles utilizadas en este estudio son parte de un proyecto regional a largo plazo para la elaboración y actualización de las cronologías del nogal nativo y del cedro Tucumán en el noroeste de Argentina. La primera de estas cronologías de especies fue desarrollada en la década de 1980 (Villalba, *et al*., 1985) y fue actualizada periódicamente (Villalba, *et al*., 1987, 1992, 1998). Las series anuales de los anillos del cedro y del nogal y los caudales estacionales (octubre-marzo) del río San Francisco, consideradas en este estudio, abarcan el período de 1947 a 1999 en el caso del nogal, y de 1947 a 2002 en el caso del cedro.

La ubicación de la Cuenca del Río San Francisco y los sitios de muestreo de los anillos se muestran en la Figura 1. La identificación de los anillos se ilustra en las Figuras 2 y 3.

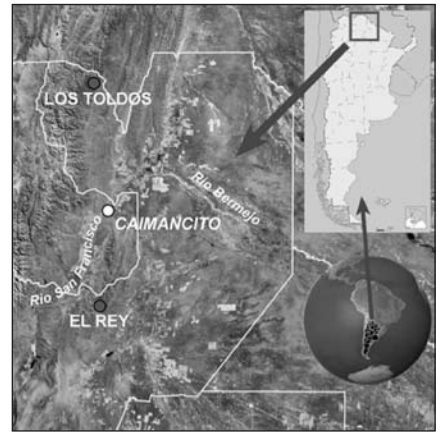


Fig. 1 Ubicación de la cuenca del Río San Francisco, afluente del Bermejo, estación de medición de Caimancito y los sitios de muestreo de los anillos de árboles.
Fuente: Imagen LANDSAT del NOAA

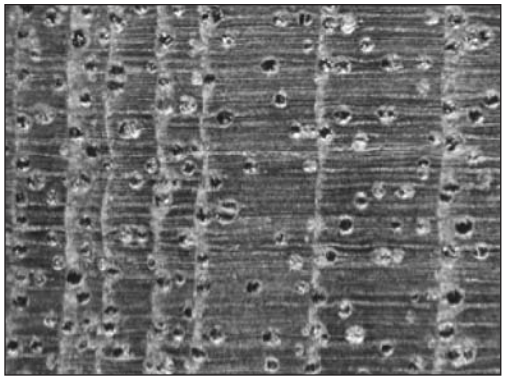


Fig. 2 Cedrella lilloi.

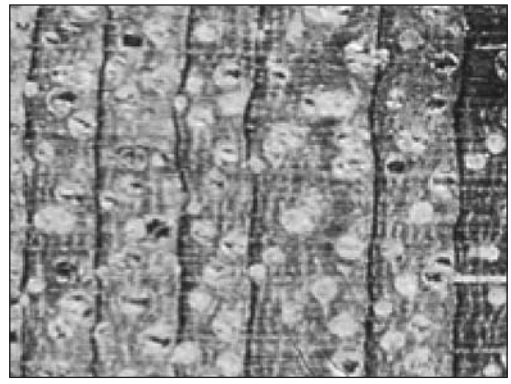


Fig. 3 Juglans australis.

La región montañosa subtropical del noroeste de Argentina (20º-30ºS) tiene una marcada estacionalidad en los caudales, con el 83% de las contribuciones anuales concentradas en la primavera-verano (octubre a abril).

La Fig. 4 muestra los anillos de crecimiento del nogal reflejando claramente los cambios anuales del clima regional en los sitios de muestreo de estos árboles: Los Toldos (22º 19'S, 64º 40' O) y el Parque Nacional El Rey (24º43'S, 64º38'O) en la Provincia de Salta; siendo la distancia entre ellos es de unos 250 km.

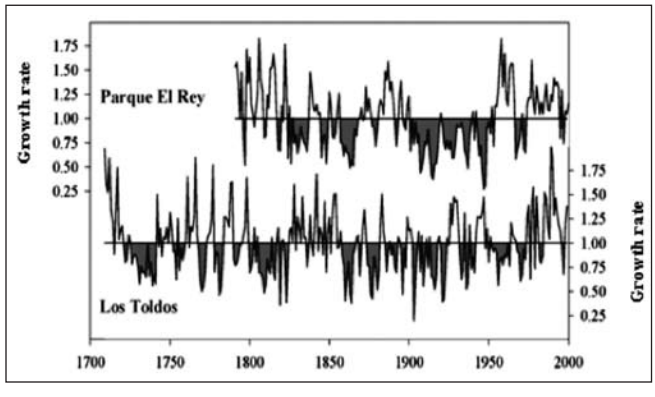


Fig. 4 Cronología de la anchura de los anillos del nogal nativo de Los Toldos y del cedro del Parque Nacional El Rey.

2.1 Análisis de Correlación Cruzada

Este análisis se llevó a cabo para evaluar la función de distribución de escenarios anticipados, a fin de demostrar si existe una relación entre la escorrentía y las diferentes cronologías de anillos de estas dos especies.

La correlación cruzada entre los caudales medios estacionales y los anillos para diversos períodos de desarrollo demostró la relación entre los caudales medios estacionales y la precipitación acumulada desde octubre hasta abril en las cuencas de los ríos en el noroeste y los anillos de crecimiento anual.

Esta señal de los caudales también se observó en el Río Bermejo, y también se analizaron las precipitaciones estacionales (acumuladas de octubre a abril) en la cuenca con suficiente información histórica (1934-1990).

La correlación significativa entre la precipitación estacional de las diferentes estaciones meteorológicas en la cuenca del Río San Francisco y las cronologías de los anillos se observa tanto en el cedro como en el nogal. Patrones similares de correlación se observaron en varias estaciones meteorológicas de la Cuenca del Río Bermejo, tal como Picket, Lajitas, Pichanal, Caimancito, y Calilegua.

2.2 Reconstrucción histórica de los caudales estacionales

Para reconstruir la serie de caudales estacionales en esta cuenca antes del año 1947, se utilizó una *Red Neuronal Artificial*. Las Redes Neuronales Artificiales son una rama de la inteligencia artificial, donde se construye el conocimiento a través del aprendizaje a partir de ejemplos y tratando de simular la estructura y funcionamiento de las neuronas biológicas. Las redes, por lo general, consisten de una serie de elementos interconectados de procesamiento llamados neuronas.

3 Resultados y discusión

La Figura 5 muestra la serie de los caudales observada (1947-1993) y los calculados empleando esta metodología. La reconstrucción histórica de la misma desde el año 1791, expresada en términos de anomalías, se ilustra en la Figura 6.

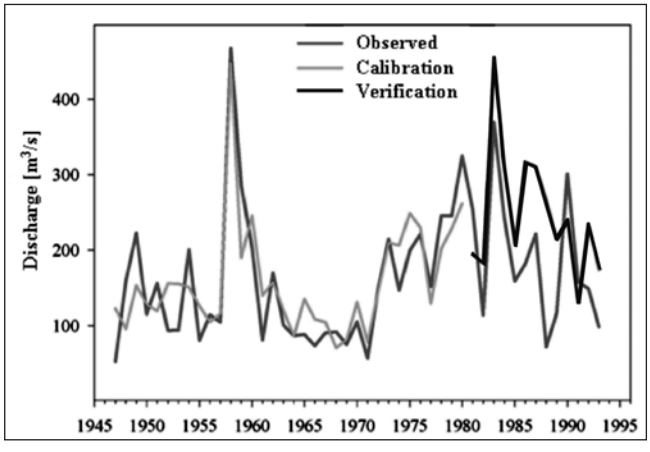


Fig. 5 Los caudales estacionales del Río San Francisco, usando la red neuronal artificial en diferentes etapas.

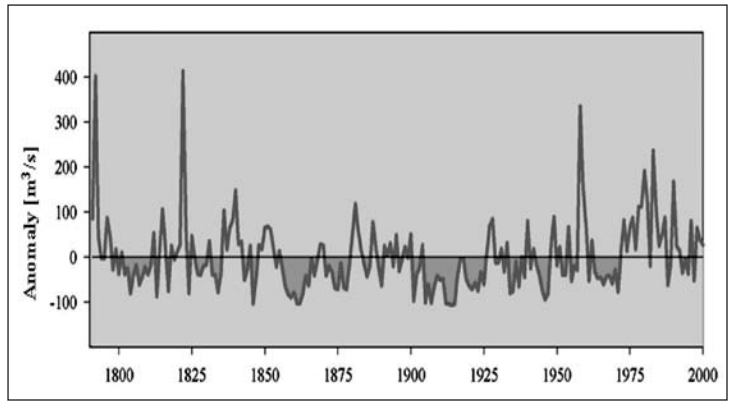


Fig. 6 Reconstrucción histórica de los caudales estacionales expresados como anomalías.

4 Conclusiones

El objetivo de este estudio era demostrar la enorme importancia de los registros dendrocronológicos para la reconstrucción de variables hidro-climáticas. La simple observación histórica de las anomalías de los caudales estacionales durante el período 1791-1946 (serie reconstruida) permite identificar largos períodos de déficit de caudales de la cuenca y que oscilan entre 10 y 27 años de duración. También se observan ciclos muy cortos, donde se produjeron caudales extremos en 1792, y entre los años 1818 y 1823. Si bien esta situación es poco frecuente, gracias a esta reconstrucción fue posible detectar que ocurrieron en el pasado eventos de exceso hídrico como el que ocurrió en 1958, el cual se corresponde con un evento de medición de caudal. Esta información permitirá un análisis de la evolución del sistema climático a diferentes escalas estacionales, que no ha sido el objetivo de este artículo.

REFERENCIAS

Cobos, D. R y J. A. Boninsegna. (1983) Fluctuations of some glaciers in the upper Atuel River basin, Mendoza, Argentina. *Quaternary of South America and Antartica Peninsula* 1: 61-82.

Haykin, S. (1994) *Neural networks: a comprehensive foundation.* New York, Macmillan College Publishing Company.

Holmes, R. L.; C. W. Stockton y V. C. La Marche. (1979) Extension of river flow records in Argentina from long tree-ring chronologies. *Water Resources Bull*. 15 (4): 1081-1085.

Fritss, H. C. (1976) *Tree-rings and Climate.* Academic Press Inc. Londres. 565pp.

Meko, D.; C. W. Stockton y W. R. Boggess. (1995) The tree-ring record of severe sustained drought. *Water Resources Bull*. 31 (5): 789-801.

Rumelhart, D. E.; G. E. Hinton; R. J. Williams. (1986) Learning representations by back-propagation errors. *Nature* 323: 533-536.

Solanki S. K.; I. G. Usoskin; B. Dromer; M. Schüssler y J. Beer. (2004) Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature* 431: 1084-1087.

Stockton, C. W. y G. C. Jacoby Jr. (1976) Long-term surface-water supply and streamflow trends in the Upper Colorado River Basin based on tree-ring analysis. *Lake Powell Res. Project Bull*. 18. Inst. Of Geophys. And Planet. Phys., Univ. of Calif. Los Angeles.

Villalba, R.; J. A. Boninsegna y R . L. Holmes. (1986) *Cedrela angustifolia* and *Juglans australis*: Two new tropical species useful in dendrochronology. *Tree-ring Bulletin* 45: 25-36.

Villalba, R.; J. A. Boninsegna y A. Ripalta. (1987) Climate, site conditions and tree-growth in subtropical north-western Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 1527-1544.

Villalba, R.; R. L. Holmes y J. A. Bonisegna. (1992) Spatial patterns of climate and tree-growth variations in subtropical north-western Argentina. *Jounal of Biogeography* 17: 631-649.

Impactos del cambio climático en el régimen hidrológico y en los medios de subsistencia locales de la cuenca alta del Río Kaligandaki en Nepal

JAGAT K. BHUSAL[1] Y PREM SAGAR CHAPAGAI[2]

1 Comité Nacional del Programa Hidrológico Internacional, Nepal
ihpnepal@gmail.com

2 Departamento de Geografía, Universidad de Tribhuvan, Nepal

Resumen La experiencia ha demostrado que aún en cuencas relativamente pequeñas existe una amplia variedad de asuntos físicos, administrativos y políticos relativos al proceso hidrológico, a la ley y política del agua, a la administración de los recursos hídricos y a la participación de las partes interesadas, que pueden ser resueltos de una manera integral (HELP, 2000). En este contexto, algunas actividades relacionadas a HELP (Hidrología para el Ambiente, la Vida y las Políticas) se inician en la cuenca alta del Río Kaligandaki de Nepal. Se encontró que existe una creciente preocupación por el deterioro de los medios de subsistencia de la cuenca que se acrecenta por la variabilidad climática. Es importante destacar que el cambio climático está alterando la frecuencia de las nevadas así como la profundidad (cantidad) de la nieve lo que deriva en una menor disponibilidad de agua para la irrigación y para los sistemas de producción agro-pastoriles tradicionales. Se encontró una correlación satisfactoria entre el caudal del río y sus sedimentos. Esto es una indicación de que los eventos extremos, los riesgos de hidroeléctricas, el agotamiento de las áreas de permafrost y el deshielo de los glaciares están estrechamente vinculados con las corrientes fluviales y los sedimentos. Es probable que varios pueblos asentados sobre la orilla y las laderas del río desaparezcan en las próximas décadas si el clima continúa cambiando al ritmo actual. El panorama general es que los medios de subsistencia de la cuenca son vulnerables y el asentamiento comenzó a cambiar.

Palabras clave Kaligandaki; agro-pastoril; medios de subsistencia; cambio climático; sedimentos del río; HELP

1 Cuenca alta del Río Kaligandaki

La cuenca alta del Río Kaligandaki está localizada en la región Trans-Himalaya de Nepal, limita también con la región Autónoma de Tíbet de China al norte, este y oeste (Fig. 1). El Himalaya es una cordillera geológicamente joven, frágil y afectada por la denudación continua. La cuenca cubre un área de 3.573 kilómetros cuadrados con una elevación que va de entre 2.000 m a 8.168 m sobre el nivel del mar. Debido a las profundas laderas y a los cortes de los desfiladeros del río, los establecimientos no son densos y la tierra cultivable es limitada. (NTNC, 2008). El mayor sistema de agricultura en la cuenca está confinado a las laderas medias y altas debajo de los 3.500 m por sobre el nivel del mar.

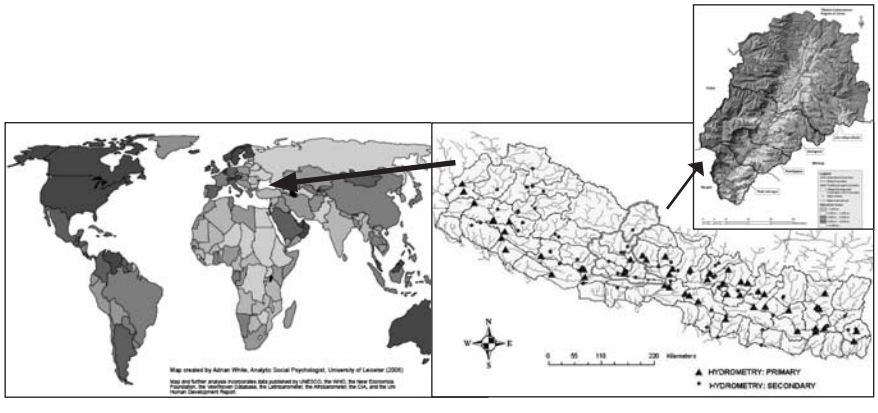


Fig. 1 Ubicación de Nepal y la cuenca alta del Río Kaligandaki.

Clima y vegetación: la cuenca se encuentra en la zona de sombra de lluvia y recibe menos de 300 mm de precipitación anual (DHM, 1999). El clima es generalmente seco con fuertes vientos e intensa radiación solar. El área entre los 2.000 m y 3.000 m de altitud tiene un clima templado frío siendo la parte más húmeda del distrito y está dominado por bosque de coníferas. La zona climática alpina varía de entre 3.000 m a 4.500 m. El área está dominada por arbustos, cubierta por vegetación espinosa y rica en productos forestales no madereros. La región de tundra está por sobre los 4.500 m y está cubierta por hielo todo el año.

Cultura y turismo: A través de los años, los misioneros tibetanos penetraron la cuenca influyendo de ese modo en varias sectas budistas y reformas (Simon, et al., 1998). En la era actual, las poblaciones no pertenecen a una cultura o tradición en particular (NTNC, 2008). Desde 2010, los vehículos y la red de carreteras han abierto muchas oportunidades para la sostenibilidad de los medios de subsistencia. Por otro lado, esto también ha ampliado la desigualdad económica, acelerado la degradación ambiental, aumentado la integración cultural y contribuido al crecimiento desordenado de los asentamientos de la cuenca (Tulachan, 2001).

Agua y cultura: el agua fue muy disputada entre los individuos, las comunidades y los grupos sociales dentro de la cuenca. El derecho al agua estaba estrechamente vinculado con el sistema de la poliandria fraternal del matrimonio practicado hasta un pasado reciente en la región. Aunque en la actualidad este sistema de matrimonio casi no existe, el sistema de herencia impartible ha dejado a las personas divididas en clases (Basnet, 2007). Los pueblos indígenas de la cuenca tienen mucho que enseñarles al mundo sobre cómo adaptarse, sobrevivir y prosperar en el contexto del calentamiento global y la degradación del hábitat.

2 Cambio climático: tendencia de la precipitación anual y la temperatura

El cambio climático es un asunto de preocupación global. Se prevé que el aumento de un grado en la temperatura al nivel del mar va a corresponder al aumento de dos grados en la temperatura de una región a gran altitud como el Himalaya (IPCC, 2001). Los estudios han mostrado tendencias alarmantes en la temperatura de Nepal, la cual varía aproximadamente entre 0,06°C a sobre 0,08°C. El análisis de la variación espacial de la tendencia de la temperatura media anual mostró una tendencia creciente en casi todo el país, excepto en unos pocos lugares aislados (Karmacharya, et al., 2007, Practical Action 2009). La temperatura media de la cuenca tiene una tendencia creciente por sobre 0,02 por año (Baidya, et al., 2008).

La precipitación anual promedio en la cuenca y en general en las regiones del oeste de Nepal tiene una tendencia positiva (Baidya, *et al*., 2008). La parte baja de la cuenca, que es la parte más húmeda, tiene una tendencia al aumento de la precipitación anual con una tasa de alrededor de 0,70 mm por década (Gauchan A., 2010). La parte norte de la cuenca, que es la región con menor precipitación, ha experimentado una tendencia a la disminución de las nevadas.

3 Cambio climático: balance de agua, derretimiento de la nieve y los glaciares y los sedimentos del río

Balance de agua: Aunque hay indicios claros de los efectos del cambio climático sobre los regímenes hidrológicos de la cuenca, se continúa un estudio para cuantificar las alteraciones en los caudales del río debido a estos cambios. El volumen de escorrentía anual que se descarga a través de la cuenca y el volumen total de agua que cae como precipitación sobre el área de la cuenca (3200 Km^2) están evaluados (Fig. 2). A largo plazo, la precipitación media anual es equivalente a 924 millones de metros cúbicos mientras que el volumen anual de agua descargando fuera de la cuenca asciende a

1.110 millones de metros cúbicos (DHM, 2008). La relación escorrentía/precipitación se aproxima a 1,20. Las diferencias entre la cantidad de precipitación y la escorrentía pueden ser explicadas por el hecho de que la precipitación sobre la cuenca hidrográfica no está determinada con precisión debido a la falta de registros representativos y/o por los componentes que contribuyen también a la escorrentía como el derretimiento de la nieve y los glaciares y por los acuíferos subterráneos, los cuales recargan las áreas que podrían estar fuera de la cuenca.

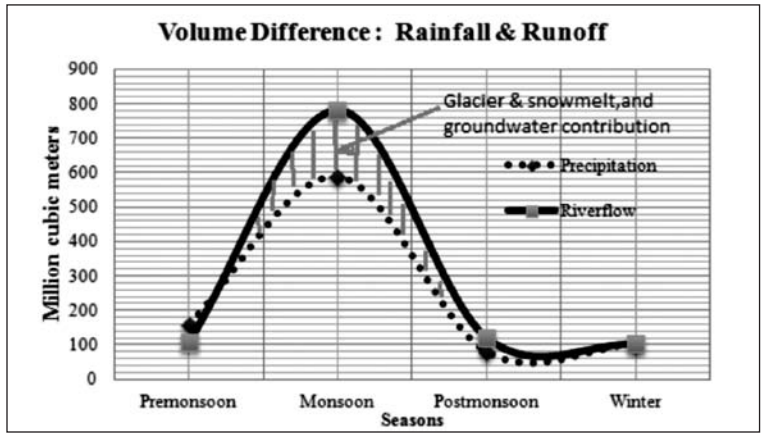


Fig. 2 Volumen anual de escorrentía y precipitación.

Derretimiento de la nieve y los glaciares: hay alrededor de 8,46% de contribución al caudal anual de la nieve y el deshielo de los glaciares, un máximo de contribución mensual de 22,52% en mayo y un mínimo de contribución mensual de 1,86% en enero en el Río Kosi en Nepal (WWF, 2009). Las evaluaciones realizadas en la cuenca alta del Río Kuligandaki indicaron que la contribución del derretimiento de la nieve puede alcanzar el 40% (Fig. 3). El peor de los escenarios con la proyección presente es que las características futuras del caudal de los ríos alimentados por nieve puedan parecerse a los patrones actuales de aquellos ríos que no son alimentados por nieve. La reducción en el caudal del río de la cuenca podría estar por sobre el 40% si toda la nieve se seca. Sin embargo, la situación fuera más miserable si las variaciones temporales y espaciales se amplíen debido a los cambios climáticos en el futuro.

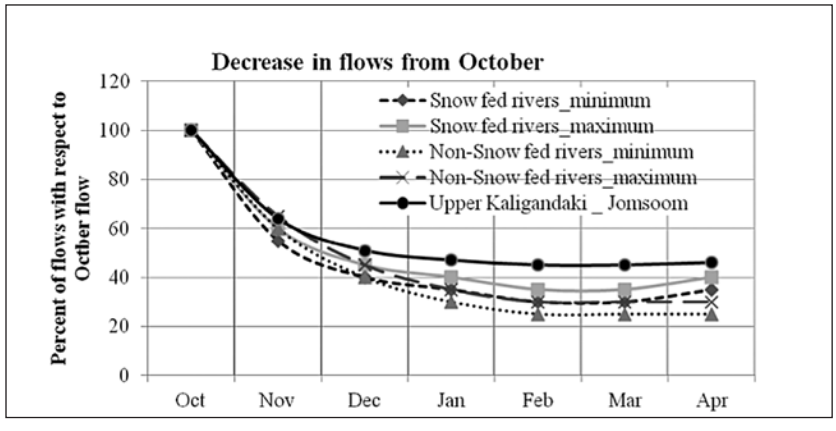


Fig. 3 Curvas de recesión del caudal.

Sedimentos del río: existe una buena correlación entre las medidas de los caudales del río y las concentraciones de los sedimentos suspendidos en el sitio de monitoreo de la cuenca. Una correlación apreciable entre el caudal del río y el transporte de sedimentos suspendidos indica claramente que el río trae sedimentos finos a lo largo del año. Un estudio preliminar (Fig. 4) indica que existe un incremento de la carga anual de sedimentos en suspensión por sobre el 0,7%.

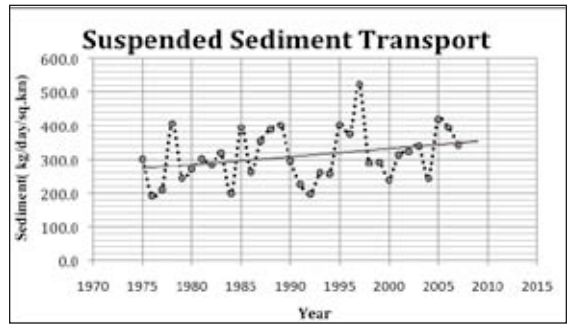


Fig. 4 Tendencia en los sedimentos suspendidos.

El riesgo relacionado al sedimento es inherente a la cuenca debido a las continuas elevaciones y a la evolución del paisaje (Adhikari, 2008). El retroceso de los glaciares, el derretimiento del permafrost y las fluctuaciones anuales en las áreas cubiertas por nieves en el contexto del aumento de la temperatura debido al acelerado calentamiento global y local han estado cambiando la tasa de producción de sedimentos (ICIMOD, 2001, Inman, *et al*., 1999). Las inundaciones imprevistas, los deslizamientos, la fuerte erosión del suelo, los cortes del río han sido vistos como lo principales riesgos en la cuenca. Mientras los cortes del río sean predominantes, varios pueblos establecidos en las orillas del Río Kaligandaki tienen la probabilidad de enfrentar consecuencias mortales en las siguientes décadas (Fig. 5).

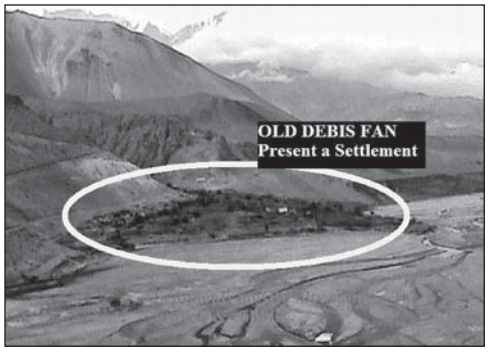


Fig. 5 Asentamiento sobre depósitos de sedimentos en la confluencia de arroyos.

4 Impactos del cambio climático en la cuenca

El cambio climático ha alterado no solo la variación temporal y espacial de la nieve, sino también el tiempo de acumulación de la misma en el suelo. Debido a la muy baja capacidad del suelo de retener la humedad, la productividad del pastoreo de las tierras altas ha disminuido. Hay menos agua disponible para la irrigación y para el sistema de producción agro-pastoril tradicional el cual es la mayor fuente de subsistencia (Tulachan, 2001). La tendencia decreciente en las fuentes de producción de agua (manantiales y arroyos) es una gran preocupación en esta cuenca ya que las personas que habitan en ella se basan principalmente en los recursos del medio ambiente local para

ganarse la vida. Muchas tierras agrícolas son abandonadas debido a la escasez de agua y algunas poblaciones van a convertirse en refugiados ambientales. Se ha producido un cambio en las prácticas de cultivo de manzana a elevaciones altas debido a la incidencia de nuevas enfermedades y a la baja productividad (Gauchan A, 2010). La parte baja de la cuenca ha experimentado mayores fracasos en las cosechas debido a los impredecibles cambios en los patrones de temperatura y precipitación. Además, la escasa o nula precipitación representa una disminución de los verdes pastos, por lo tanto los cambios en las condiciones climáticas han sido un asunto de gran preocupación para los agricultores y sus medios de subsistencia.

5 La política de gestión integrada de los recursos hídricos

El gobierno de Nepal ha formulado y adoptado la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) además ha aprobado el Plan Nacional del Agua de Nepal (WECS, 2002, 2005). Los principios de la política mencionados en estos documentos y que son relevantes y útiles para la cuenca alta del Río Kuligandaki son: 1) el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos de manera holística, basándose en los principios de la GIRH; 2) la utilización sostenible del agua para asegurar la conservación de los recursos y la protección del medio ambiente; 3) la prestación de servicios de agua en forma descentralizada mediante la participación de los actores responsables y los organismos (públicos, privados, comunitarios y de usuarios) y la distribución de los beneficios de los recursos hídricos entre las comunidades en forma equitativa; 4) los estanques de recolección de agua que ayudarían a incrementar la cantidad de agua y un estricto y separado conjunto de reglas durante los momentos de escasez severa que mitigaría los efectos de la escasez hidrológica; 5) la adopción de mejores tecnologías y prácticas para desarrollar una micro hidro energía adecuada al ámbito local.

6 Conclusiones y recomendaciones

- La cuenca es muy vulnerable al cambio climático. El aumento de las actividades antropogénicas, los vehículos y la red de carreteras han deteriorado aún más el medio ambiente local. *Las evaluaciones preliminares indican que la mayoría de las fuentes de captación de agua se van a secar en el futuro.*
- Los caudales del río y la carga de sedimentos en suspensión mostraron una buena correlación que indica que el río arrastra sedimentos finos durante todo el año. *Varios asentamientos establecidos en las laderas y en la orilla del Río Kaligandaki son propensos a sufrir debido a los desastres inducidos por el clima*.
- Tradicionalmente, los pueblos estaban aglomerados con el máximo cuidado para preservar las tierras productivas. *Pero en el contexto cambiante, los agricultores tienen una tendencia a construir casas en tierras de cultivo lo cual ha estado desintegrando los grupos de asentamientos y disminuyendo el sistema de tierra productiva.*
- Los hombres y mujeres adultos tienen una tendencia a migrar y esto ha dado como resultado la escasez de mano de obra para la agricultura (Tulachan, 2001; Poudel, 2003; Subedi, 2005). La agricultura ha sido la única responsabilidad de las mujeres y los miembros mayores del hogar. *Es requerida una política en materia de medios de subsistencia, de adaptación y de cambio de sistemas de cultivo que demanden menos trabajo y menos agua.*
- La asignación tradicional de las autoridades de agua, los derechos de propiedad, reglas, sistema de castas y otras diferencias sociales eran dominantes en la cuenca alta del Río Kaligandaki (Basnet, 2007). Un cambio en el arreglo institucional para la gestión del agua en un pueblo se vincula con un conflicto inter-poblacional de las tierras de pastoreo y de propiedad comunitaria.

El éxito de la gestión de los recursos hídricos de una comunidad no puede lograrse en forma aislada de los otros recursos comunitarios.

- Annapurna Conservation Area Project (ACAP) es la mayor organización autónoma y sin fines de lucro, que estableció una estrecha cooperación y colaboración con las instituciones tradicionales y las organizaciones comunitarias, como las ONG locales, los Comités de Desarrollo de Pueblos y los Comités de Desarrollo Distrital (Khadka, 2007). *Pero todavía hay carencias en la integración de la vida y el medio ambiente, los valores económicos y sociales para el desarrollo (procesos de planificación a ejecución) para alcanzar mejores y más sostenibles resultados*.
- Los asuntos de política relevantes son: (a) la vulnerabilidad de medios de subsistencia debido a la insuficiencia y la falta de disponibilidad del agua para las necesidades básicas y a no tener la capacidad para pagar por el agua (b) la disminución de la producción de los sistemas de agricultura tradicionales, la dilución de la biodiversidad y las vidas y ambientes amenazados (c) los antiguos techos de barro de las casas necesitan rehabilitación y reestructuración para hacer frente a los patrones cambiantes de precipitación y para una mejor higiene; (d) *apoyo a los refugiados del clima- reubicación y rehabilitación (mecanismo de compensación)*.

REFERENCIAS

Adhikari, B.R. and Wagreich, M., (2008), "Palustrine limestone in the sedimentary succession of the Cenozoic Thakkhola-Mustang Graben (central Nepal)", *Journal of Alpine geology*.

Baidya S.K, Shrestha M.L, Sheikh M.M (2008) "Trends in daily climatic extremes of temperature and precipitation in Nepal", *J Hydrology and Meteorology* 5(1): 38–51

Basnet G. B. (2007), Water of Discord, Water of Unity: An Ethnography Study of the Struggle for Water Rights in Upper Mustang, Nepal, Graduate Faculty of The University of Georgia, ATHENS, GEORGIA - Ph. D. Dissertation.

DHM (1999), Daily Precipitation Records of Gandaki and Narayani Zone through 1996, Department of Hydrology and Meteorology (DHM), HMG/N, Nepal.

DHM (2008), Stream Flow Summary (1962-2006), Department of Hydrology and Meteorology (DHM), HMG/N. Nepal.

Gauchan Aneeta (2010), "Climatic Risk and Hazards on Commercial Apple Farming in Mustang District", Paper presented on WMO day-2010 Celebration by DHM, Pokhara, Nepal.

HELP Task Force (2000), The Design and Implementation Strategy of the HELP Initiative, (Doc. No. H00/1) [www.unesco.org/science/HELP]

ICIMOD (2001). Inventory of Glaciers, Glaciers Lakes and Glaciers Lake Outburst Floods -,Monitoring and Early Warning Systems in the Hindu Kush Himalayan Region, International Centre for Integrated Mountain Development, Nepal.

Inman, Douglas L. and Jenkins, Scott A, (1999), "Climate Change and the Episodicity of Sediment Flux of Small California River", *Journal of Geology, Vol 107,* pp 251-270

IPCC (2001) Third Assessment Report: Climate Change (TAR), The Intergovernmental Panel on Climate Change.

Karmacharya Jagadishwor, Shrestha Archana, Rajbhandari Rupak, and Shrestha, Madan L. (2007) "Climate Change Scenarios for Nepal based on Regional Climate Model RegCM3", APN CAPaBLE, GCISC and Department of Hydrology and Meteorology, Kathmandu, Nepal.

NTNC (2008): Sustainable Development Plan of Mustang; NTNC/GoN/UNEP, National Trust for Nature Conservation, Nepal.

Poudel, P.C. (2003), "Development and Issues in Mountain Eco-tourism: A Case from Pokhara Area, Nepal, The Namche Conference: People, Park, and Mountain Ecotourism, May 24-26, 2003.

Practical Action Nepal, (2009), Temporal and Spatial Variability of Climate change over Nepal (1976 to 2005), Practical Action Nepal Office, Kathmandu, Nepal.

Subedi, B. P. (2005), "The Aged and the Marginal: Social Geography of Older People in Nepal". *The Himalayan Review, 35-36 (2004-2005)* 1-18.

Tulachan, Pushpa (2001), "Seasonal migration and trade: A strategy of survival by the Lobas of Lo Manthang", in Susanne von der Heide and Thomas Hoffman (eds). Aspects of Migration and Mobility in Nepal. Kathmandu: Ratna Pustak Bhandar.

WECS (2002), Water Resources Strategy of Nepal Water and Energy Commission Secretariat, Kathmandu, Nepal.

WECS (2005), National Water Plan –Nepal, Water and Energy Commission Secretariat, Kathmandu, Nepal [www.moen.gov.np/pdf_files/national_water_plan.pdf].

Eventos de lluvia y la calidad de agua en ríos empleados como fuentes de abastecimiento de agua potable: Casos Río Pacora y Cabra

JOSÉ FÁBREGA[1], ERICK VALLESTER[1], JOHANA VALDÉS[2], GLORIA GARCIA[3], MARCIAL ARIAS[1], KLEVEER ESPINO[1] Y CHAD JAFVERT[2]

1 Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
2 Purdue University, EEUU
3 ITS Panamá, S.A., Panamá
jose.fabrega@utp.ac.pa

Resumen La variación de la calidad del agua en ríos usados como fuente de abastecimiento de agua puede significar potenciales desmejoras en la salud de la población, así como problemas en el funcionamiento adecuado de las plantas potabilizadoras. El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de los eventos de lluvia en la calidad de las aguas del río Pacora y Cabra en la provincia de Panamá, República de Panamá. La metodología incluyó la realización de muestreos y análisis de agua en las estaciones seca y lluviosa empleando muestreadores automáticos ISCO 6712. Se analizaron principalmente sólidos totales, encontrándose para el Río Pacora variaciones en la intensidad de lluvia entre los 38.95 y 53.34 mm/hr, con duraciones de eventos entre 4 y 9 minutos, y valores de sólidos totales que oscilaron entre los 26 y 82 mg/L. Para el caso del Río Cabra se obtuvieron intensidades de lluvia entre los 12.19 y 73.15 mm/hr, con duraciones entre 4 y 12 minutos, y valores de sólidos totales entre los 40 y 326 mg/L. Se concluye que existe una tendencia de los sólidos totales a incrementarse para eventos de corta duración y de intensidades superiores a 15 mm/hr. Para eventos de corta duración e intensidades menores a los 15 mm/hr, los aumentos en sólidos totales se registraron sólo en casos de eventos de lluvia anteriores con intensidades de al menos 15 mm/hr. Estos resultados son importantes, dado que no existen en la literatura muchos estudios de relaciones intensidad/calidad de agua para eventos cortos.

Palabras clave abastecimiento de agua; sólidos totales; calidad de agua; muestreadores automáticos de agua; precipitación

Plan de respuesta a emergencias por inundación en las comunidades de Guayabalito y Santa Rosa

GERARDO LEIS ROMERO
Sección de Recursos Hídricos, Autoridad del Canal de Panamá, Panamá
gleis@pancanal.com

Resumen El embalse Alhajuela es importante para la operación del Canal de Panamá, es fuente importante de agua potable a la Ciudad de Panamá, y también se utiliza en la generación de energía hidroeléctrica. Los aportes de agua al embalse durante la temporada lluviosa pueden provocar incrementos significativos de los niveles del agua. La presa Madden posee un vertedero para desalojar los excedentes de este embalse. El desalojo de los excesos puede poner en peligro la vida y los bienes de los lugareños y las personas que visitan los poblados de Guayabalito y Santa Rosa, ubicados aguas abajo del vertedero de Madden. La Sección de Recursos Hídricos, con el apoyo del Equipo de Relaciones con la Comunidad (División de Ambiente), otras unidades de la Autoridad del Canal de Panamá, y organismos como el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), han implementado acciones para minimizar los riesgos y capacitar a estas poblaciones. El Plan de Respuesta a Emergencias por Inundación en las Comunidades de Santa Rosa y Guayabalito abarca la descripción del área de riesgo, los aspectos socioeconómicos, causas potenciales de una emergencia, mapas de planicies de inundación detallada, lista de contactos con las comunidades, tiempos de arribo de las crecidas, planes de reducción de riesgo y evacuación, cronogramas de acción y acciones posteriores a la crecida.

Palabras clave inundación; respuesta a emergencias; embalse; riesgo

1 Antecedentes

La Sección de Recursos Hídricos de la autoridad del Canal de Panamá ejecuta el Programa de Control de Inundaciones desde 1972. La reducción de riesgos en las comunidades de Santa Rosa y Guayabalito, ubicadas aguas abajo de la presa Madden, ha sido uno de los componentes principales de este programa en los últimos años.

Descripción de la zona de riesgo: Comunidades de Guayabalito y Santa Rosa, localizadas en la Republica de Panamá, provincia de Colón, distrito de Colón, corregimiento de Santa Rosa; limitan al este con el río Chagres en el sector aguas abajo de la presa Madden; se ubican entre las coordenadas geográficas: 9°12'N y 9°11'N, 79°34'45"W y 79°34'12"W; y entre las coordenadas UTM (zona 17): 1015000 m N y 1017000 m N; 647000 m E y 648000 m E. Estas comunidades ocupan una superficie de 63,79 ha y 7,12 ha, respectivamente, en una franja de 1,5 km de longitud, paralela a la orilla derecha del Río Chagres (Fig. 1).

Accesos: El acceso principal a las comunidades es por la carretera Boyd-Roosevelt, comunidad de Nuevo San Juan. El camino es de asfalto. El transporte acuático por el río Chagres es otro medio que se utiliza para trasladarse a estas comunidades.

Topografía: Guayabalito posee elevaciones entre los 26 m (85,28 pies) y 40 m (131,2 pies), colinda al sur con Santa Rosa, con elevaciones entre los 27 m (88,56pies) y 33 m (108,24 pies). Guayabalito posee pendientes entre 35-45% en las zonas altas del oeste, y entre 8-20% en el sector este; Santa Rosa posee pendientes variables ente 8 y 25%. La cota 30.48 m (100 pies) establece el límite para la operación del Canal de Panamá.

Clima: Tropical lluvioso, temperatura media entre 25.4° C y 27.5° C. La precipitación media anual es de 2090 mm, y la temporada lluviosa es de mayo a diciembre.

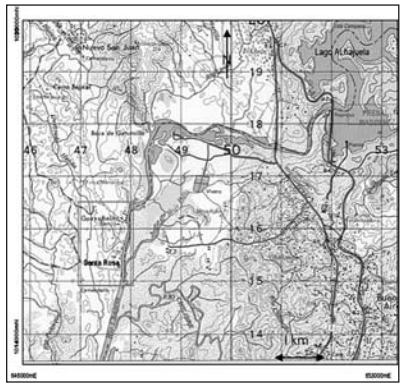


Fig. 1 Localización regional de los poblados de Guayabalito y Santa Rosa.

Fig. 2 Vista aérea de los poblados de Guayabalito y Santa Rosa y el río Chagres (2007).

2 Características hidrográficas

Las comunidades se encuentran ubicadas adyacentes al Río Chagres, entre 5,7 km a 7,7 km aguas abajo de la presa Madden. Dependiendo de los riesgos por eventos hidrometeorológicos se puede derramar agua por el vertedero, con descargas preventivas hasta descargas extremas en situaciones de pre-emergencia y emergencia. Los vertidos normales pueden ser de hasta 2124 m^3/s (75.000 p^3/s), y en situaciones de emergencia hasta 7079 m^3/s (250.000 p^3/s).

3 Aspectos socioeconómicos

En Santa Rosa residen 162 personas (Censo del 2000), cuentan con electricidad y utilizan un acueducto rural por gravedad (la toma de agua se encuentra en la localidad de Aguas Claras). El Río Chagres es utilizado como transporte para lavar, pescar y bañarse. Guayabalito, al igual que Santa Rosa, está ubicado en la ribera occidental de dicho río, su población es de 76 habitantes (Censo del 2000), en su mayoría de descendencia afroantillana. Las actividades productivas se basan en el ecoturismo, la agricultura de subsistencia (arroz, guandú, ñame, yuca, maíz y otros); la pesca y los trabajos en el sector servicio (ciudades de Panamá y Colón).

Santa Rosa cuenta con una escuela primaria y dos maestros; a partir del séptimo grado, los estudiantes se trasladan al corregimiento de Chilibre para recibir educación pre-media y media. Existe un puesto de salud, un teléfono público, dos casas locales, iglesias (católicas, evangélicas), un cuadro de fútbol y béisbol, dos tiendas y dos kioscos, no hay estación policial.

Las organizaciones comunitarias presentes en estas comunidades son: Comité de Padres de Familia, Comité de Preescolar, Comité de Agua, Club de Juventud, Comité Católico, Asentamiento Campesino, Comité de Ecoturismo y el Grupo de Gestión de Prevención de Riesgo de Inundaciones.

4 Mapas de inundación

Con el fin de estimar los daños por las descargas desde el vertedero de Madden se confeccionó un mapa de planicies de inundación que indica el nivel del agua en los poblados, en función de la descarga desde el vertedero de Madden. Estos niveles fueron generados con el modelo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), y luego de plasmaron en un mapa topográfico a

intervalos de un metro, levantado con instrumentos topográficos (Fig. 3). En el poblado se han colocado hitos, que indican la planicie de inundación hasta la cota de 30.48 m, como referencia.

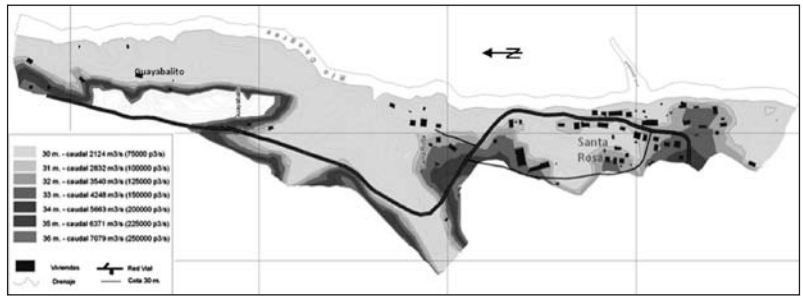


Fig. 3 Mapa de planicie de inundación para Guayabalito y Santa Rosa para diferentes descargas desde el vertedero de Madden, (resolución original de 1 metro).

Los tiempos de la llegada de las descargas desde la presa Madden son importantes para la estimación del tiempo de inicio y finalización de la emergencia y el plan de evacuación de los pobladores. Las descargas desde la presa Madden pueden tener un tiempo de arribo a los poblados de entre 20 minutos y 4 horas, de acuerdo a la magnitud de la descarga.

5 Implementación del plan de reducción de riesgo y evacuación

La Sección de Recursos Hídricos (División de Agua), con el apoyo del Equipo de Relaciones con la Comunidad (Sección de Manejo de Cuenca, División de Ambiente) y el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), mantiene contactos con estas comunidades mediante reuniones participativas y concertadas. Se han establecido, en forma concertada, las rutas, albergues y puntos de reunión mediante un croquis (Fig. 4), ejercicios de evacuación, listas de notificación y reuniones con las comunidades, destacándose los siguientes aspectos:

- Diagnóstico comunitario, 2005
- Caracterización de las comunidades, 2006
- Topografía de las comunidades: Colocación de señales con elevación 30.48m (100 pies), curvas de nivel, ubicación de viviendas e infraestructuras y mapeo, 2006
- Talleres de capacitación para organizar y establecer el Comité Comunitario de Riesgo, 2006
- Taller escolar de riesgo en la Escuela de Santa Rosa, 2006
- Información a los moradores sobre la cota 30.48m (100 pies), 2006
- Elaboración del plan de control de riesgo de Inundaciones, 2006
- Validación en la comunidad del plan de control de riesgo, 2006
- Ejercicio de evacuación, 2006
- Evaluación del ejercicio de evacuación, 2006
- Taller de gestión ambiental comunitaria, 2007
- Firma del convenio de cooperación entre el Ministerio de Gobierno y Justicia, a través de SINAPROC, y la ACP, 2007
- Taller de actualización del plan de riesgo de inundación, 2007
- Taller escolar de riesgo de inundación en la escuela de Santa Rosa, 2007
- Convocatoria y actualización de base de datos de las comunidades, 2008
- Ejercicio de evacuación de la población con los observadores no participantes: Policía Nacional, SINAPROC, ACP, 2008
- Participación de coordinadores comunitarios en la Charla sobre el Ejercicio de Control de Inundaciones, 2009

- Instalación de letreros de avisos en las áreas de riesgo por inundación y vías de evacuación, septiembre de 2009

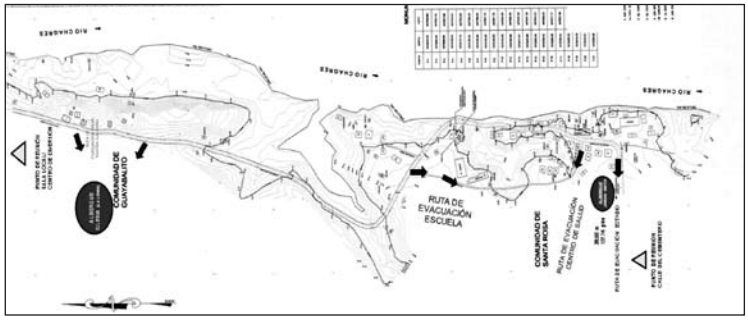


Fig. 4 Croquis con las rutas de evacuación, albergues y puntos de reunión.

6 Otros componentes fundamentales

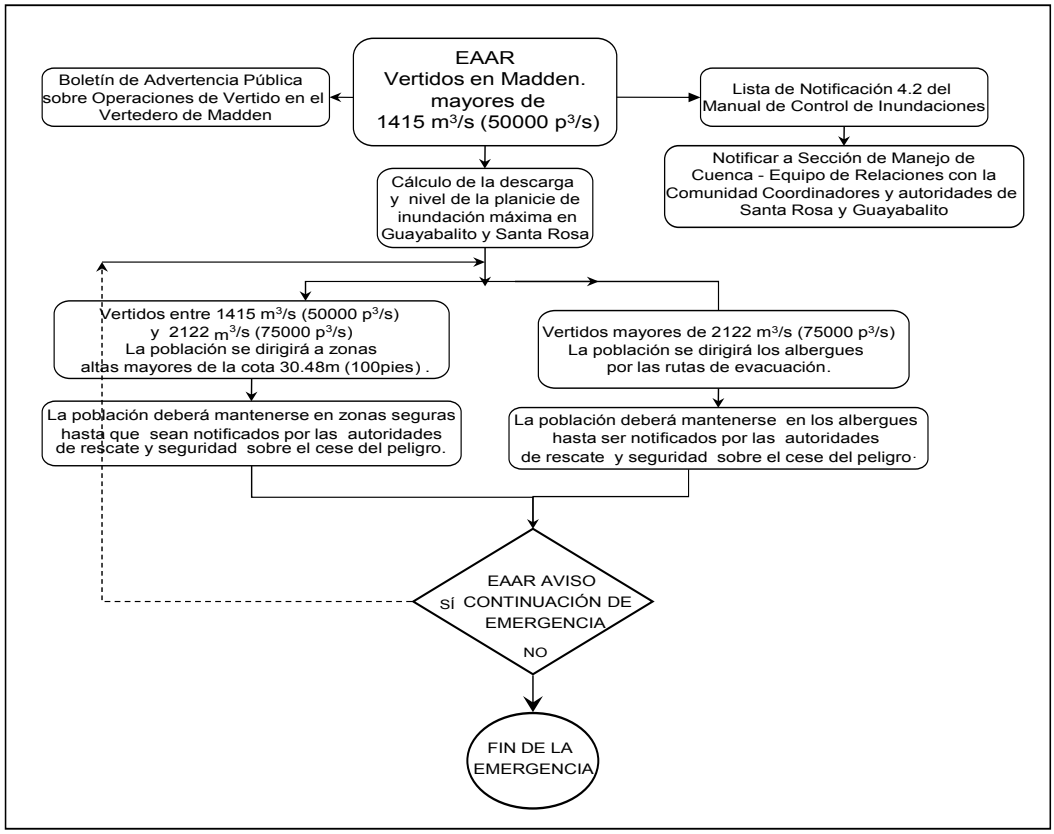


Fig. 5 Procedimiento esquemático de respuesta a emergencias por inundación en Guayabalito y Santa Rosa.

- Cronograma de acciones comunitarias para la reducción de riesgo
- Preparación de las comunidades
- Plan de respuesta a emergencias – procedimiento previo a los vertidos en Madden

- Base para la activación del plan
- Notificaciones
- Advertencia Pública
- Comunicaciones
- Operación de alarmas o sirenas en la presa de Madden
- Acciones a seguir – poblaciones de Guayabalito y Santa Rosa
- Advertencias y acciones
- Duración de la emergencia

7 Conclusiones

Las comunidades que pueden ser afectadas por eventos de inundación pueden minimizar los efectos negativos de estas con una adecuada preparación y concientización. Las herramientas como los modelos de simulación hidrológica permiten zonificar las zonas de riesgo para caudales conocidos y dar alertas tempranas a las poblaciones.

REFERENCIAS

ACP-SINAPROC. (2006) *Plan de Reducción de Riesgo, Comunidades de GUAYABALITO Y SANTA ROSA, Manual del Participante*.

ACP-Unidad de Educación Ambiental y Relaciones con la Comunidad, Equipo Social. (2006) *Sistematización de la Experiencia GUAYABALITO Y SANTA ROSA, Informe 2006*.

Autoridad del Canal de Panamá-EAAR. (2009) *Manual de Control de Inundaciones*.

US Army Corps of Engineering Center. (1977) *Annotations of Selected Literature on Nonstructural Flood Management Measures*.

US Army Corps of Engineering Center. (1983) *Example Emergency Plan for Blue Marsh Dam and Lake*.

El Programa de Control de Inundaciones de la Autoridad del Canal de Panamá

JOHNNY A. CUEVAS M.
Programa de Control de Inundaciones, Sección de Recursos Hídricos, Autoridad del Canal de Panamá, Panamá
jcuevas@pancanal.com

Resumen El Programa de Control de Inundaciones consiste de un conjunto de actividades que realiza la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) durante la temporada de mayor precipitación para identificar, mitigar y dar respuesta a las diversas condiciones de inundación que pudieran representar un peligro para las comunidades y bienes localizados en las riberas de los embalses Gatún y Alhajuela, además de afectar las estructuras e interrumpir las operaciones del Canal. La actividad más crítica es el vertido de aguas, que se realizan por motivos de seguridad. La temporada, que generalmente inicia en agosto y se extiende hasta enero, involucra diferentes actividades para lograr el objetivo de alcanzar los niveles máximos de operación de los embalses, garantizando así la disponibilidad de agua durante todo el año los tres usos principales: consumo humano, tránsito de buques y generación hidroeléctrica. El Programa es dinámico, y en el año 2005 integró a las comunidades que pueden verse afectadas, por medio de un plan de gestión de riesgos comunitarios. El Plan garantiza que se realicen las operaciones de vertidos de manera oportuna y segura para las comunidades localizadas aguas abajo y arriba de los embalses, y evitar daños a las estructuras del Canal. Los simulacros son clave para mantener al personal de diferentes áreas del Canal, y de las comunidades en riesgo, preparadas para afrontar autónomamente eventos extremos de inundación. Sin un Plan debidamente estructurado, el Canal no hubiese podido afrontar y mitigar de manera exitosa los efectos de la tormenta *La Purísima*, ocurrida en diciembre de 2010.

Palabras clave Control de Inundaciones; vertidos; comunidades; gestión de riesgos

1 Introducción

Los planes para Control de una Emergencia por Inundación han sido desarrollados para reducir los impactos adversos que los principales eventos de inundación tienen en los aspectos económicos, sociales y físicos de un área. Sin embargo, no ha sido hasta las últimas décadas que ellos han ganado aceptación entre las entidades gubernamentales y el público en general como medio efectivo para mitigar los daños por inundación (Probst, 1992). La importancia de las pruebas a la capacidad de las estructuras de vertido y a los procedimientos de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) para enfrentar una inundación fue debidamente reconocida con el inicio de los ejercicios de control de inundaciones en 1972.

Estos planes tienen que ser actualizados anualmente debido principalmente a cambios antropomórficos (usos del suelo) en la Cuenca, que pueden impactar el coeficiente de escorrentía de la misma. Un problema muy común, que va surgiendo como respuesta al incremento de la población y su presión sobre los recursos, es la incursión de poblaciones en las planicies de inundación de los ríos y embalses.

Cuando se tienen que realizar vertidos desde el vertedero de Madden se presentan riesgos potenciales, tales como la erosión de bancos y riberas, afectaciones a los puentes, inundaciones en comunidades aguas abajo, corrientes fuertes en Gamboa y peligro para turistas y moradores debido a las fuertes corrientes.

El manejo de los embalses representa un reto para los hidrólogos de la ACP, principalmente durante los últimos tres meses del año, ya que tienen que mantener las elevaciones de los embalses lo más alto posible para poder enfrentar la estación seca que se avecina, quedando sin reserva para el control de inundaciones (Vargas, 1996). Ejemplos de las mayores tormentas ocurridas en los últimos meses del año son las inundaciones de octubre de 1923, noviembre de 1931, noviembre de 1932,

noviembre de 1966, diciembre de 1985, diciembre de 2000, noviembre de 2004 y, recientemente, diciembre de 2010.

Como resultado de los ejercicios de control de inundaciones surgieron inquietudes de los residentes de las comunidades localizadas aguas abajo del vertedero de Madden sobre qué se estaba haciendo. En caso de una inundación, producto de condiciones hidrometeorológicas severas, que pueda ocasionar la necesidad de realizar vertidos extraordinarios, ¿cómo se podría apoyar a estas comunidades?

Identificado el riesgo de estas comunidades, la ACP tomó la iniciativa de establecer un plan de gestión de riesgo comunitario, para integrarlo al programa de control de inundaciones. La hipótesis planteada fue que, para asegurar el éxito del programa gestión de riesgo comunitario, el mismo debería tener la capacidad de activarse por sí solo, es decir, que la comunidad debería empoderarse de él.

2 Programa de Control de Inundaciones

El Programa de Control de Inundaciones es el conjunto de actividades que realiza la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), a través de la Sección de Recursos Hídricos (EAAR), durante la época de mayor precipitación, para identificar, mitigar y dar respuesta a las diversas condiciones de inundación que pudieran representar un peligro para las comunidades y bienes aledaños a los embalses, además de afectar las operaciones del Canal.

La temporada de Control de Inundaciones generalmente se presenta de agosto hasta enero, y las actividades que se desarrollan incluyen la revisión y actualización del Manual de Control de Inundaciones de la ACP, la revisión y actualización del Manual de Operaciones de Control de Inundaciones de la Sección (EAAR), la preparación de memorandos designando al personal autorizado a solicitar la apertura y/o cierre de las compuertas de los vertederos, la actualización y preparación de listas de notificaciones a todos los Involucrados, la contratación de cinco Auxiliares de Hidrología que trabajan turnos rotativos, la preparación de los turnos y designación de un equipo de vigilancia continua de las condiciones hidrometeorológicas de la Cuenca del Canal, reuniones periódicas de cambio de turno y, cuando los embalses están alcanzado los niveles máximos de operación, inspecciones a las planicies de Inundación de los poblados en riesgo de inundación por los derrames de agua. Se preparan y emiten avisos o boletines de advertencia sobre riesgos de inundación debido a las operaciones de vertido y condiciones meteorológicas; estos avisos se difunden mediante los medios de comunicación, y van dirigidos a las comunidades y el público en general.

3 Ejercicio de Control de Inundaciones

Una de las actividades principales es la ejecución del Ejercicio y Simulacro de Control de Inundaciones, el cual se realiza anualmente, generalmente la tercera semana de octubre, y que consiste en una simulación coordinada que sirve como entrenamiento al personal de la ACP, suministrándole práctica en las acciones y procedimientos, y haciéndole consciente de posibles problemas y soluciones. Los participantes además prueban y evalúan los planes de emergencia por inundación y las líneas de comunicación entre las diferentes unidades involucradas durante una operación por inundaciones. El ejercicio comprende diferentes etapas, las cuales incluyen: reuniones, charlas informativas, entrenamiento de personal, el ejercicio en sí y las críticas al ejercicio.

Como la Sección EAAR es responsable por la preparación, actualización y publicación del Manual de Control de Inundaciones de la Autoridad del Canal de Panamá y del Manual de Operaciones de Control de Inundaciones de la Sección de Meteorología e Hidrología, estos dos manuales son evaluados durante el ejercicio anual, con la finalidad de ser utilizados durante situaciones de inundaciones reales.

El ejercicio incluye la participación de diferentes unidades de la ACP, que pueden ser afectadas o urgidas durante una inundación severa. Adicionalmente son invitados a participar otros estamentos del Gobierno, encargados de este tipo de sucesos.

Como ejemplo, en las críticas al ejercicio de control de inundaciones realizado en 2004, surgieron interrogantes cómo: En caso de una inundación en las comunidades de Santa Rosa y Guayabalito, ¿tienen un censo de población?, ¿tienen un plan de desalojo?, ¿hacia dónde se evacuará la población?, ¿a quiénes deben contactar?, ¿cuentan con alimentos, frazadas, etc.)?

4 Sistemas de apoyo

Para reforzar la vigilancia continua de las condiciones hidrometeorológicas de la Cuenca se cuenta con el sistema de telemetría, el cual es la espina dorsal del programa de Control de Inundaciones, y presenta la información generada en campo en tiempo real. Otros sistemas de apoyo son las imágenes de Satélites/NOAA Port, el radio Sondeo, el radar meteorológico (Fig. 1), modelos de Pronóstico Meteorológico e Hidrológico, y el Sistema de Soporte a las Decisiones (DSS). También se han definido y actualizado los Mapas de Planicies de Inundación de las comunidades en riesgo de inundación. Todos estos elementos permiten al equipo de meteorología e hidrología hacer pronósticos acertados para optimizar el manejo de los embalses y darle seguimiento a condiciones hidrometeorológicas extremas.

5 Estructuras de vertido

Para regular la elevación de los embalses Alhajuela y Gatún, el programa de Control de Inundaciones depende directamente del sistema de presas y vertederos. La finalidad de las estructuras hidráulicas es regular el almacenamiento de agua a través del año para garantizar agua suficiente durante la temporada seca.

Las obras hidráulicas principales para el control de inundaciones en la Autoridad del Canal de Panamá son tres: el vertedero de Gatún, el vertedero y embalse de Alhajuela (Madden) y las alcantarillas de las esclusas. El vertedero de Gatún consta de catorce (14) compuertas de deslizamiento vertical; el de Madden consta de cuatro (4) compuertas de tambor y seis (6) compuertas de fondo, y en caso de emergencias por inundación se dispone de 3 alcantarillas cerca de la esclusa de Gatún, con una capacidad de desalojo de 27 mil pies cúbicos por segundo, y 3 alcantarillas en la esclusa de Pedro Miguel, con capacidad 21 mil pies cúbicos por segundo (ver Fig. 2).

Fig.1 Radar meteorológico tipo doppler.

Fig. 2 Estructuras de vertido del Canal de Panamá.

6 De Control de Inundaciones a Manejo Integrado de Inundaciones

Aunque hasta el año 2004 se contaba con un programa de control de inundaciones bien estructurado, que garantizaba las operaciones seguras y continuas del Canal de Panamá, quedaban todavía desafíos por soslayar para que el programa estuviera integrado y conectado con las comunidades vulnerables a inundación. Por esta razón se concibió un Plan de Gestión de Riesgo Comunitario.

7 Establecimiento del Plan de Gestión de Riesgo Comunitario

Identificadas las Comunidades de Guayabalito y Santa Rosa como las más vulnerables, por estar localizadas en las planicies de inundación del río Chagres, se iniciaron las actividades, por medio de un esfuerzo en conjunto interdisciplinario e interinstitucional, donde se invitó a participar al equipo de Relaciones con la Comunidad y al Sistema Nacional de Protección Civil. A continuación se presentan las principales actividades realizadas como parte del Plan:

- Diagnóstico comunitario en octubre de 2005 y caracterización de las comunidades de Guayabalito y Santa Rosa, enero 2006
- Topografía de las comunidades: Replanteo en campo de la cota 30,48m (100 pies), curvas de nivel, ubicación de viviendas e infraestructuras y mapeo, marzo de 2006.
- Talleres de capacitación para organizar y establecer el Comité Comunitario de Riesgo, mayo a julio 2006 (Fig. 3)
- Taller escolar de riesgo en la Escuela de Santa Rosa, octubre 2006
- Información a los moradores sobre la cota 30.48m (100 pies), 2006
- Elaboración del Plan de Control de Riesgo de Inundaciones, octubre 2006
- Validación del Plan de Control de Riesgo de Inundaciones en la comunidad, 2006
- Simulacro de evacuación y evaluación, octubre de 2006
- Taller de gestión ambiental comunitaria, 2007
- Firma del convenio de cooperación entre el Ministerio de Gobierno y Justicia, a través de SINAPROC, y la ACP, diciembre de 2007
- Taller de actualización del Plan de Control de Riesgo de Inundaciones
- Reunión taller escolar de riesgo de inundación en la escuela de Santa Rosa, 2007
- Convocatoria y actualización de base de datos de las comunidades de Guayabalito y Santa Rosa, 2008
- Ejercicio de evacuación de la población con los observadores no participantes: Policía Nacional, SINAPROC, ACP, 2008.
- Participación de coordinadores comunitarios en la Charla Introductoria al Ejercicio de Control de Inundaciones 2009 y 2010, en el Centro de Capacitación Ascanio Arosemena de la ACP
- Instalación de letreros de avisos en las áreas de riesgo por inundación y vías de evacuación, septiembre de 2009

Fig. 3 Charla Introductoria al Plan de Gestión de Riesgo Comunitario, mayo 2006.

8 Resultados

Las actividades realizadas en las comunidades de Guayabalito y Santa Rosa tuvieron resultados satisfactorios, ya que la comunidad quedó involucrada y entrenada en la cultura de gestión de riesgos y se estableció el plan. Se logró tener un censo actualizado de ambas comunidades, se establecieron los puntos de contacto a llamar en caso de emergencias, se demarcó la cota 100 en campo, se señalizaron las rutas de evacuación y la localización de los alojamientos para ambas comunidades, y finalmente se logró que los residentes de las comunidades participaran activamente en los simulacros de inundación.

El Programa Integral de Control de Inundaciones fue sometido a prueba el 7, 8 y 9 de diciembre de 2010, cuando la tormenta denominada *La Purísima* impactó la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, provocando que se tuvieran que descargar por el vertedero de Madden 153.000 pies cúbicos de agua por segundo (con este caudal, en dos segundos se llenarían 3 piscinas olímpicas). Como resultado de esto, entre las afectaciones principales tenemos: los niveles de los perfiles del agua alcanzaron la cota 100, por lo que las viviendas localizadas debajo de la cota quedaron bajo agua, se registraron inundaciones a varias casas localizadas en las planicies de inundación del río Chagres, en las poblaciones de Santa Rosa y Guayabalito, donde solamente hubo pérdidas materiales (enseres, electrodomésticos, muebles, etc. – Tabla 1), se dio la afectación a las instalaciones de la estación telemétrica Santa Rosa, la cual hubo que desmontar para evitar daños al equipo, hubo erosión del cauce y de las riberas inmediatamente aguas abajo de la represa de Madden, se dio el cierre parcial del tránsito por la Autopista Panamá a Colón en el tramo del puente del Río Chagres, hubo afectación en la marina del Hotel Gamboa Resort por arrastre de vegetación producto de los vertidos, desechos arrastrados por la corriente y dejados en el cauce de navegación en el área de Gamboa, y la necesidad de la reprogramación de los tránsitos de buques por el Canal debido a la suspensión temporal del servicio por un período de 17 horas.

Tabla 1 Total de Familias Afectadas por la tormenta *La Purísima*

Familias	Familias afectadas	Adultos	Niños	Total personas
TOTAL	27	56	43	99
Guayabalito	5	10	9	19
Santa Rosa	22	46	34	80

Fuente: Inventario ACP. Equipo Social de Investigación y Relaciones con la comunidad y Equipo de Educación Ambiental.

9 Discusión

Las operaciones durante la tormenta *La Purísima* se realizaron siguiendo los procedimientos establecidos dentro del Manual de Control de Inundaciones, que contemplan avisos oportunos de evacuación y el seguimiento fiel de estas acciones según lo estipulado en el Plan de Gestión de Riesgos Comunitarios para Santa Rosa y Guayabalito. Es muy posible que los simulacros realizados en los ejercicios anuales de Control de Inundaciones evitaron la pérdida de alguna vida entre los residentes de estas dos comunidades. La comunidad atendió al llamado dado por los vertidos extremos, evacuó sus viviendas y acudió hacia los refugios seguros previamente identificados y establecidos.

Sin un plan debidamente diseñado, estructurado y periódicamente actualizado, más la realización de simulacros anuales con personal de la sección de recursos hídricos (meteorólogos e hidrólogos) y otro personal de la ACP bien entrenado en las operaciones de Control de Inundaciones, la participación de otras instituciones como SINAPROC, y sin lugar a dudas, el empoderamiento de la propia comunidad, el Canal no hubiese podido afrontar y mitigar de manera exitosa los efectos de la tormenta *La Purísima*.

REFERENCIAS

Cuevas, J. (2010) *Manual de Control de Inundaciones de la Autoridad del Canal de Panamá*.

Cuevas, J. (2005) *Informe de la Operación de Control de Inundaciones durante la Tormenta del 18, 19 y 20 de noviembre de 2004*. Autoridad del Canal de Panamá, Panamá.

Leis, G. (2009) *Manual de Respuesta a Emergencias por Inundación, Poblados de Guayabalito y Santa Rosa, Panamá*.

Probst, S. (1992) *Panama Canal Commission Flood Control Manual*. Comisión del Canal de Panamá.

Vargas, C. A. (1996) *La Administración de Los Recursos Hídricos, Pieza Fundamental para el Funcionamiento del Canal*. Panamá.

Gestión del agua en el Canal de Panamá durante la inundación extrema en diciembre de 2010

JORGE A. ESPINOSA
División de Agua, Autoridad del Canal de Panamá, Panamá
jaespinosa@pancanal.com

Resumen Este documento examina las medidas/decisiones tomadas por el personal del Canal de Panamá, durante y después de la tormenta de diciembre de 2010. Siguiendo las normas utilizadas por la Autoridad del Canal de Panamá del Protocolo de Comando Unificado de la Guardia Costera de los EE.UU, la tormenta fue nombrada "La Purísima", la mayor tormenta de tres días en historia de la cuenca del Canal. La tormenta fue asociada a la interacción de un centro de baja presión, los remanentes de un frente estacionario y a la zona de convergencia intertropical en la parte nororiental de la cuenca del Canal de Panamá. La tormenta produjo un récord de 760 mm de lluvia en 24 horas, y un flujo de vapor acumulado de 235 MMC por tres días en la Estación Chico o del Río Chagres. A las 22:20 horas del 7 de diciembre de 2010, la inundación dejó fuera de servicio los sensores de la Estación Chico ubicada en el Río Chagres; esta es una estación clave para el monitoreo de esta tormenta. Para gestionar las operaciones del Canal, a las 10:45 Hora Local, el 8 de diciembre de 2010, se estableció el Sistema de Comando de Incidentes, antiguo Centro de Control de Inundaciones, por primera vez en la historia del Canal de Panamá. Debido a los deslizamientos de tierra se cerraron las dos carreteras que conectan Panamá y la Ciudad de Colón. Los pueblos Guayabalito y Santa Rosa, que se encuentran en las áreas de operación del Canal, aguas abajo de la Represa Madden, en la llanura de inundación del Río Chagres, se inundaron por la cantidad de agua derramada por el vertedero de esta represa. Debido a los volúmenes extremos de escorrentía producidos por la tormenta, 40% PMF, la ACP se vio obligada a usar, por cuarta vez en su historia, las alcantarillas de las exclusas para que se derramase el agua, y por ende, parando el tránsito de buques por el Canal durante 17 horas. La tormenta produjo más de 500 deslizamientos de tierra en la cuenca arriba de la represa Alajuela. Estos deslizamientos de tierra produjeron una gran cantidad de sedimentos en suspensión que se dirigieron a la represa de Alhajuela, donde están ubicadas las instalaciones de toma de agua de la principal planta de tratamiento de agua potable para la Ciudad de Panamá. Esta situación provocó una turbidez del agua de la represa de 700 Unidades de Turbidez Nefelométricas (UTN), causando el colapso de la planta de tratamiento de agua, dejando una gran parte de la Ciudad de Panamá sin agua potable durante 50 días. La Sección de Recursos Hídricos del Canal de Panamá manejó la represa Alajuela evacuando los sedimentos del sistema. Se determinó más tarde el hidrograma del Río Chagres en la Estación Chico usando dos vías independientes: el modelo Sacramento y el modelo hidráulico HEC-RAS.

Palabras clave Crecida Máxima Probable (CMP); Sistema de Comando de Incidentes; Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT); prueba hidrométrica; modelo hidráulico

1 Gestión del agua en el Canal de Panamá durante las inundaciones extremas en diciembre 2010

La Cuenca del Canal de Panamá (CCP) se divide en dos sub-cuencas: Alhajuela (Madden), con un área de drenaje de 1.026 km^2 y Gatún (aguas abajo de Madden), con un área de superficie de drenaje de 2.313 km^2 (ACP, 2011d). Cuenta con siete ríos principales que son monitoreados por la Sección de Recursos de Agua (SRA) de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Los ríos Chagres, Pequení, Boquerón e Indio-Este, ubicados en la parte noreste de la CCP, drenan en el Lago Alajuela, que tiene un nivel máximo de funcionamiento de 76,8 m; mientras que los ríos Gatún, Trinidad y Ciri Grande drenan en el Lago Gatún, el lago de navegación del Canal, que tiene un nivel máximo de funcionamiento de 26,6 m.

Del 7 al 9 de diciembre de 2010, la Cuenca del Canal de Panamá (CCP) experimentó la mayor tormenta de tres días en su historia. La media del flujo de corriente registrada durante los 3

días consecutivos en la Estación Chico fue de 908 $m^3 s^{-1}$, lo que equivale a 235 Millones de Metros Cúbicos (MMC) en 3 días. De acuerdo al análisis de frecuencia Log-Pearson III, este volumen tiene un período de recurrencia de aproximadamente 300 años, siendo el más grande registrado en 78 años; la siguiente tormenta más grande registrada fue de 556 $m^3 s^{-1}$ (144 MMC) en 1935, y tiene un período de recurrencia de 50 años (ACP, 2011b).

El pico de tormenta más grande jamás registrado en la Estación Chico se produjo en noviembre de 1966, y alcanzó un máximo de 3.606 $m^3 s^{-1}$, con un período de recurrencia de 500 años, la segunda tormenta más grande fue La Purísima, con un pico de 3.501 $m^3 s^{-1}$, y un período de recurrencia de 400 años. En ambas tormentas, debido a las olas de las inundaciones, se perdieron el estanque de reposo (en 1966) y la manguera baboteadora registradora de nivel automática (en 2010). En ambos casos, el flujo de corriente máxima fue estimado mediante un levantamiento topográfico de las marcas de nivel de agua dejadas por el pico de las olas de las inundaciones. Durante la tormenta de diciembre 2010, el pico de inundación en la Estación Chico llegó a 96,2 m, aproximadamente 13 m por encima de su nivel de caudal de base (ACP, 2011b).

Debido a la escorrentía tan significativa producida por la tormenta de tres días, La ACP tuvo que aplicar, por primera vez en su historia, el Sistema de Comando de Incidentes (SCI), con el fin de controlar las inundaciones y proteger las estructuras del Canal y las comunidades ubicadas dentro de sus áreas de operación. El primer paso dado, una vez que se estableció el Centro de Comando de Incidentes (CCI), fue el de darle un nombre al hecho causante de la emergencia, por lo que los miembros de la CCI aceptaron nombrar esta tormenta "La Purísima". Históricamente, muchos de los agricultores panameños costeños del Caribe le han dado el nombre de "La Purísima" a la última tormenta importante de la temporada de lluvias, que generalmente se produce cinco días antes o después del 8 de diciembre, el día de la "Inmaculada Concepción de la Virgen María" –La Purísima–, de acuerdo al calendario de la Iglesia Católica. Esta tormenta, que se produce antes del inicio de la temporada seca, indica un cambio en las prácticas agrícolas de los cultivos tradicionales.

El 8 de diciembre 2010, a las 12:00 GMT (ver Fig. 1) se estacionó un sistema de baja presión de 1010 en Panamá, mientras que un frente estacionario se extendió desde el Océano Atlántico hasta La Española, al sur de lo que se convirtió en una depresión que entró en el norte de Panamá. Estos sistemas produjeron un centro de tiempo intenso en la parte norte central de Panamá, en la parte superior de la sub-cuenca del Río Chagres, como se ve en la Fig. 2. La Fig. 3 muestra los totales de lluvia de 24 horas en la red de estación de la CCP para la media de la ventana de 24 horas máximas de lluvia vinculadas a la tormenta La Purísima de diciembre de 2010. La precipitación acumulada en la estación pluviográfica Esperanza fue de 788 mm durante la ventana de 24 horas (desde 07/12/2010 a 11:45 HL al 08/12/2010 a 11:45 HL), rompiendo en la CCP el récord de agua pluvial acumulada por 24 horas de todos los tiempos. De acuerdo al modelo probabilístico Log-Pearson Type III, el período de recurrencia de las precipitaciones acumuladas de tres días consecutivos en la Estación Chico es de 400 años, el segundo mayor evento de lluvia en Chico ocurrió en el año 2000, con 290 mm, con un período de recurrencia de 50 años.

Los sensores de nivel de agua en la estación hidrográfica Chico en el Río Chagres quedaron fuera de servicio por la crecida ocasionada por La Purísima a las 23:00 hora local (HL) el 7 de diciembre de 2010, dejando así a la SRA sin datos de la estación central para el monitoreo de esta tormenta (Fig. 4).

A las 10:45 HL del 8 de diciembre de 2010, el CCI fue activado oficialmente y se iniciaron los procedimientos de emergencia para el manejo de la tormenta. Se tomó la decisión de utilizar las alcantarillas de las esclusas de Pedro Miguel y Gatún para aumentar la capacidad adicional del vertedero. Esta fue la cuarta vez en la historia del Canal de Panamá que las alcantarillas de las exclusas (2 alcantarillas de 3 en las esclusas de Gatún y 3 en las esclusas de Pedro Miguel) fueron

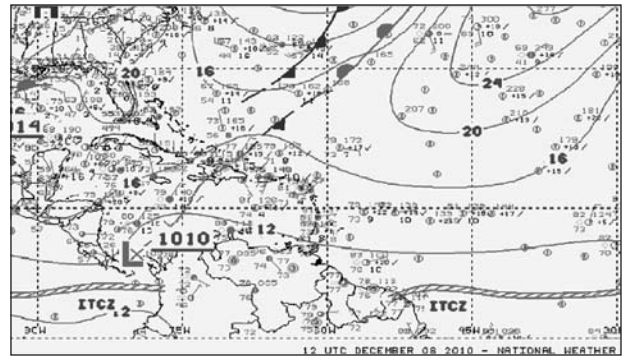


Fig.1 Mapa meteorológico del 8 de diciembre de 2010 a las 12:00 GMT.
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de EE.UU.

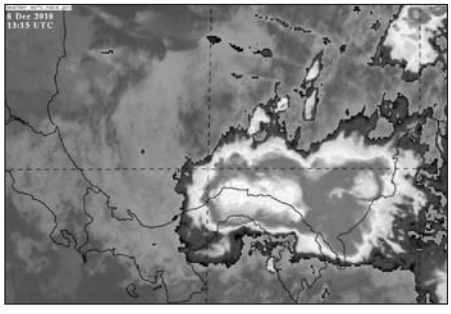


Fig. 2 Imagen satelital infrarrojo de diciembre 8, 2010 a las 13:15 GMT.
Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

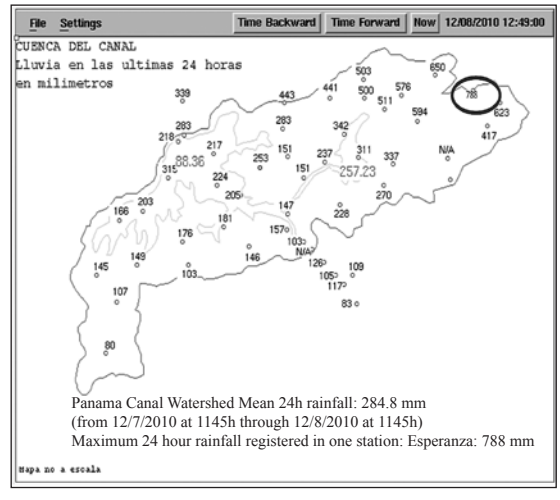


Fig. 3 Precipitaciones totales de la Cuenca del Canal de Panamá en una ventana de 24 horas de precipitación asociada a la tormenta de La Purísima de diciembre de 2010.

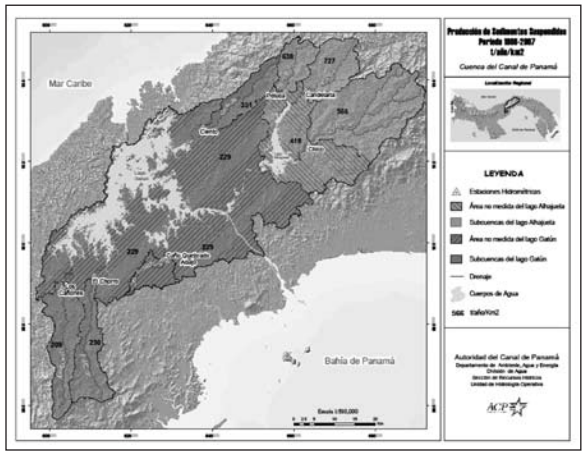


Fig. 4 Producción de sedimento en suspensión en la Cuenca del Canal (t/año/km^2), 1998-2007.
Fuente: ACP, 2011b.

utilizadas como instalaciones de derrame de emergencia (Morrow, 1924; PCC, 1924; Registros del Congreso de EE.UU. de 1954; ACP, 2011a). Debido al uso de las alcantarillas de las exclusas como vertedero, el Canal fue cerrado a la navegación de buques, por razones de seguridad, a partir de las 11:00 HL el 8 de diciembre, hasta las 04:00 HL del 9 de diciembre de 2010. El cierre del Canal no afectó significativamente el tránsito de buques, ya que los mismos fueron reprogramados y al final del día 10 de diciembre toda la navegación había vuelto a la normalidad.

La operación de derrame llevada a cabo el 8 de diciembre de 2010 usando el vertedero de la Represa Madden (160.000 pcs), estableció también un récord. Esta operación obligó a los que viven dentro las áreas de operación del Canal, en los pueblos de Guayabalito y Santa Rosa, a cumplir con el Plan de Emergencia de Inundaciones diseñado específicamente para este tipo de eventos y para estos dos pueblos. La implementación del Plan de Emergencia y su plan de evacuación, que a menudo se practica durante los Ejercicios Anuales de Control de Inundaciones de la ACP, resultó ser un éxito, ya que no se informó de víctimas durante el evento de La Purísima.

La Purísima causó tantos deslizamientos de tierra en las montañas al noreste de la CCP que una gran cantidad de sedimentos en suspensión entró al Lago Alhajuela, causando que la planta de tratamiento de agua potable Federico Guardia Conte (FGC) cesara sus operaciones. La planta de toma de agua, ubicada en el Lago Alhajuela, está diseñada para procesar rutinariamente agua con 5 unidades nefelométricas de turbidez (UTN). Ella no pudo controlar apropiadamente el agua, a más de 600 UTN, que estaba entrando en el lago durante enero y febrero de 2011. Esta situación creó una crisis de abastecimiento de agua potable en la Ciudad de Panamá por más de 50 días. Una parte importante de su población tuvo que comprar agua embotellada durante este período de tiempo.

Varios descubrimientos importantes de las investigaciones hechas sobre los deslizamientos de tierra en Puerto Rico pueden ser aplicados a la CCP, que tiene un clima tropical y una geología similar. Larsen y Simon (1993), y Larsen y Torres Sánchez (1998) han encontrado que si hay más de 200 mm de lluvia aproximadamente en un día, y si el terreno es lo suficientemente inclinado (>12 grados de pendiente), entonces ocurrirían deslizamientos de tierra. En la cuenca del Alto Chagres las laderas exceden 45º en el 90% del territorio (Larsen, CL, 1984; Leis, G., 2008).

La Sección de Geotecnia de la ACP, a petición de la SRH, hizo una prueba hidrométrica que muestra que más del 50% de los sedimentos en suspensión en el agua del Lago Alhajuela son arcillas coloidales, y el resto son sedimentos limosos. La SRH, basándose en este resultado, decidió continuar con la generación hidroeléctrica a todo poder en la Planta de Madden, para así botar los sedimentos que estaban entrando en el lago, sin dañar las turbinas de la planta, ya que no se encontraron partículas de arena abrasivas en el agua. Esta decisión ayudó de manera significativa en la limpieza del lago de sedimentos en suspensión, que de otra manera no se hubiese podido resolver debido a su pequeño tamaño.

Es importante destacar que en las zonas tropicales, tal como la CCP, la mayor producción de sedimentos se debe a deslizamientos de tierra que ocurren en función de la intensidad de las lluvias y las laderas de montaña. La Fig. 5 muestra que en promedio (1998-2007), la mayor producción de sedimentos en suspensión en la CCP se produce en las sub-cuencas de las montañas del Lago Alhajuela (ACP, 2011b), donde más del 87% de la tierra está cubierta de bosques maduros (Heckadon, et. al., 1999; ANAM-ACP, 2006). Mientras que en las tierras bajas, hacia el sudoeste de la CCP, donde la actividad ganadera y agrícola es más intensa, la producción de sedimentos en suspensión en el medio es menor.

2 Enunciados finales

- La Purísima es la tormenta que se produjo en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá entre el 7 y 9 de diciembre de 2010
- La Purísima es la tormenta más fuerte, con un volumen acumulado de tres días, que ha ocurrido en la historia de la CCP
- La Purísima obligó al Canal de Panamá a hacer uso de las alcantarillas para derramar el exceso de agua, provocando, debido a la inundación, la suspensión del tránsito de buques por cuarta vez en su historia (1914 - 2010)
- La Purísima provocó más de 500 deslizamientos de tierra en la sub-cuenca en la parte superior del Lago Alajuela; esta es una región montañosa cubierta en el 87% por bosques maduros
- La Purísima es la tormenta que ha producido más sedimento en suspensión, debido a deslizamientos de tierra en el Lago Alajuela, desde su creación en 1935, causando el cierre temporal de la planta de tratamiento de agua potable Federico Guardia Conte
- La mayor cantidad de sedimentos en la CCP se produce en la sub-cuenca en la parte superior del Lago Alajuela; esta cuenca tiene un área de intensidad de lluvias altas, donde la mayoría de las montañas tienen pendientes altas, y además es la sub-cuenca menos deforestada de la CCP
- La ACP está llevando a cabo los estudios para el diseño y construcción de un nuevo vertedero en el Lago Gatún

REFERENCIAS

(ACP) Autoridad del Canal de Panamá. (2011a) *Informe sobre la Tormenta La Purísima*, Departamento de Ambiente, Agua y Energía, División de Agua, Sección de Recursos Hídricos, Corozal Oeste, Republica de Panamá, Septiembre, 2011.

(ACP) Autoridad del Canal de Panamá. (2011b) *Anuario Hidrológico 2011*, Departamento de Ambiente, Agua y Energía, División de Agua, Sección de Recursos Hídricos, Unidad de Hidrología Operativa, Pedro Miguel, República de Panamá, Abril 2011. http://www.pancanal.com/esp/cuenca/anuario-hidrologico/index.html, acceso el 30 ago., 2011.

(ACP) Autoridad del Canal de Panamá. (2011c) *Manual de Respuesta a emergencias por Inundación, Poblados de Gauyabalito y Santa Rosa* (Revisión 2011), Departamento de Ambiente, Agua y Energía, División de Agua, Sección de Recursos Hídricos (EAAR), Corozal Oeste, República de Panamá.

(ACP) Autoridad del Canal de Panamá. (2011d) *Manual de Control de Inundaciones*, Departamento de Ambiente, Agua y Energía, División de Agua, Sección de Recursos Hídricos, Corozal Oeste, República de Panamá.

(PCC) Panama Canal Company. (1932) *Annual Report*.

ANAM-ACP. (2006) *Convenio de Cooperación, Monitoreo de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, Programa de Vigilancia de la Cobertura Vegetal, Región Oriental de la Cuenca del Canal*.

Heckadon Moreno, S., Ibáñez D., R., y Condit, R. (1999) *La Cuenca Del Canal: Deforestación, Contaminación y Urbanización*. Panamá, Republica of Panamá, Smithsonian Tropical Research Institute.

Larsen, C.L. (1984) Controlling erosion and sedimentation in Panama Canal Watershed. *Water International*, 161-164.

Larsen, M.C., y Simon, A. (1993) A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment, Puerto Rico: *Geografiska Annaler*, v. 75A, no. 1-2, p. 13-23.

Larsen. M.C. y Torres Sanchez, A.J. (1998) The frequency and distribution of recent landslides in three mountain tropical regions of Puerto Rico: *Geomorphology*, v. 24, no. 2, p. 309-331.

Leis, Gerardo; Laguna, Diana, *et al*. (2008) *Ordenamiento Territorial de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá*, Trabajo Final para la Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental Aplicada, MASGA, Louis Berguer Group, Universidad de Panamá.

Morrow, J.J. (1924) *The Military Engineer*, Vol. XVI, No. 86.

U.S.A. CONGRESSIONAL RECORD. (1954) *Proceedings and Debates of the 83rd Congress, Second Session*, May 3, 1954.

La gestión del agua en la Cuenca del Río Colorado, un gran desafío para México y los Estados Unidos, antes de la sequía y el cambio climático

FELIPE ARREGUÍN CORTÉS, MARIO LÓPEZ PÉREZ, JOSÉ GUTIÉRREZ RAMÍREZ Y ADRIANA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
Comisión Nacional del Agua, México, D.F., México
felipe.arreguin@conagua.gob.mx

Resumen El Río Colorado satisface gran parte de las necesidades hídricas de siete Estados de los Estados Unidos de América (EUA) y dos de México. Ello representa una población de 30 millones de habitantes que, según las proyecciones, alcanzará los 38 millones en 2020. En los últimos 100 años, el porcentaje total de superficie afectada por sequías climáticas extremas en los EUA ha sido de un 14% anual en promedio, con un máximo de 65% en 1934. Está ampliamente documentado que la asignación, que actualmente se tiene de las aguas del Río Colorado a los Estados de la cuenca tuvo lugar durante el período más húmedo (entre 1905 y 1925), en un periodo de 400 años. Recientemente, el oeste de los EUA ha padecido una sequía sostenida, el 30% de la región está sometida a una sequía severa desde 1999, y el Río Colorado ha tenido, entre 2000 y 2004, el caudal quinquenal más bajo registrado. Además, los Estados del suroeste de los EUA y del noroeste de México están experimentando uno de los crecimientos más rápidos de dichos países y generando una demanda social, económica y medioambiental de recursos hídricos, con los consiguientes conflictos legales.

Palabras clave Gestión; Cuencas Transfronterizas; sequía; cambio climático

1 Introducción

Ante las crecientes necesidades de agua, desde principios de 2008, los gobiernos de México y los Estados Unidos trabajan en Acciones de cooperación conjunta en temas relacionados con el Río Colorado, tales como usos urbanos, agrícolas y ambientales, el estudio del sistema hidrológico y los impactos potenciales del cambio climático, incluyendo los efectos de la sequía histórica actual en el Río Colorado.

Actualmente, enfocan el esfuerzo en la identificación de oportunidades para la conservación de agua y aumento del abastecimiento a través de la desalación de agua de mar y re-uso, así como en estrategias tendientes a disminuir las variaciones del sistema del Río Colorado y oportunidades potenciales para hacer más eficientes las entregas de agua a México del Río Colorado.

El objetivo del proceso conjunto de cooperación fue, establecer un grupo internacional de representantes federales, estatales y usuarios de organizaciones no gubernamentales expertas de México y los Estados Unidos, para explorar los referidos temas, tendientes a lograr beneficios binacionales potenciales, en áreas de usos ambientales, agrícolas y urbanos.

El presente trabajo incluye un diagnóstico de la cuenca del Río Colorado, en el que se destacan aspectos tales como la disponibilidad de agua en México, el marco físico y la distribución del agua en ambos países, se indican aspectos relevantes del Tratado de Aguas de 1944, se muestra el uso del agua en esa región de México y la problemática en materia hídrica, enfatizando el tema de cambio climático.

Se describen los esquemas y las Acciones Conjuntas México-Estados Unidos para el aumento de agua con el fin de contrarrestar la sequía en el sistema del Río Colorado analizado por los EUA.

Se hace un análisis de la visión de México sobre la cooperación del Río Colorado, las oportunidades de cooperación y proyectos identificados por los Grupos de Trabajo, las acciones a seguir, los retos y como enfrentarlos.

Se concluye con un mensaje final en el cual se enfatiza el gran esfuerzo que realizan ambos gobiernos para lograr que este proyecto de cooperación binacional, sea considerado ejemplo a nivel mundial, en materia de gestión integrada del agua por cuenca.

2 Diagnóstico

La disponibilidad de agua en México es muy desigual, pues mientras que en el sureste de nuestro país se cuenta con una disponibilidad anual de 24.450 m^3 por persona, en la frontera con los EUA es de tan solo de 1.131 m^3 y es en esta región donde se presentan las tasas más altas de crecimiento de la población y de la economía del país.

El Río Colorado tiene una longitud de 2.300 km, cuenta con diez presas de almacenamiento, una de ellas internacional, se irrigan 1.5 millones de hectáreas en los EUA y 170 mil en México, abastece a 30 millones de habitantes. Su disponibilidad es de 18,500 Hm^3 y se tienen asignados 20.352 hm^3, es decir el agua está sobre asignada.

En 1944, los EUA y México firmaron un Tratado Internacional de Aguas, a través del cual el gobierno de los EUA, asigna a México, de las aguas del Río Colorado, un volumen garantizado de 1.850,2 Mm^3 cada año. Del agua entregada, 80,6% se utiliza en la agricultura, el 8,9% en usos público-urbano, el 7% en la industria y el 3,5% en otros usos.

3 Problemática

Del total de agua subterránea disponible en la Región, el 60% se localiza en el Valle de Mexicali y en la Mesa Arenosa de San Luís Río Colorado, destinada la primera para uso agrícola dentro del Distrito de Riego 014 y la de la Mesa Arenosa para abastecer a las ciudades fronterizas desde San Luis Río Colorado, Son., hasta Tijuana, B.C.

La eficiencia en el riego es muy baja y existe desperdicio de agua debido, entre otras causas, a prácticas rudimentarias de riego, deficiente conservación de la infraestructura hidráulica, problemas de nivelación e inadecuado manejo del agua a nivel parcelario.

En cuanto al cambio climático, experiencias recientes sugieren que las condiciones en la cuenca son críticas. La variabilidad y el cambio climático, sumados a una presión creciente por efecto del desarrollo, ocasionarán sequías de magnitud desconocida para las instituciones de la región, y agravarán los conflictos entre los usuarios del agua.

4 Alternativas de solución

Estados Unidos analiza diferentes esquemas de aumento de agua para contrarrestar la sequía en el sistema del Río Colorado, en seguida se muestra un ejemplo de las principales opciones de aumento de agua en la Cuenca del Río Colorado.

Se realizan Acciones Conjuntas entre México - Estados Unidos para Incrementar la Oferta de Agua y para Contrarrestar la Sequía en el Sistema del Río Colorado, con la visión de manejar la cuenca integralmente, en el seno de la CILA se conformó, en 2008, un grupo base y cuatro grupos de trabajo, con representantes federales, estatales y Organizaciones No Gubernamentales en Méx-EUA.

Los principales objetivos de México son: atender necesidades de agua, actuales y futuras, para usos urbano, agrícola y ambiental en la frontera México-EUA; evaluar condiciones climatológicas actuales, y futura condición de escasez; desarrollar nuevas fuentes e incrementar la capacidad de almacenamiento; programas de inversión binacional para la conservación del agua y mejoramiento ambiental.

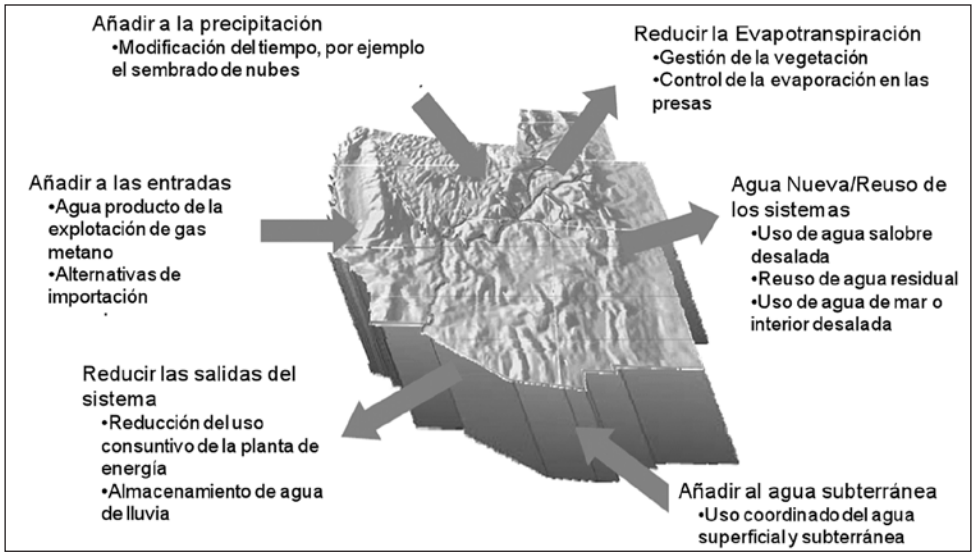


Fig. 1 Principales Opciones para el Aumento de Agua en la Cuenca del Río Colorado.

Los principales objetivos de los EUA son: atender necesidades de cantidad y calidad de agua, actual y futura, en uso urbano, agrícola y ambiental de EUA-Méx; implementar procedimientos para mejor manejo del agua en escasez; evaluar intercambio potencial de agua Méx-EUA de nuevas fuentes producidas por el desarrollo de infraestructura, mejoras u otros proyectos; evaluar impacto potencial del cambio climático en Río Colorado.

La visión de México sobre las Acciones Conjuntas de Cooperación con los EUA con relación al Río Colorado, es desarrollar proyectos que beneficien a ambos países, tales como: incremento de agua del sistema, flexibilidad en el manejo de la escasez, mejoras al ecosistema mediante el destino de parte de las aguas conservadas o generadas por ambos países para fines ambientales, principalmente en el Delta, la utilización del sistema en los EUA para efectuar almacenamientos, entregas, intercambios, transferencias u oportunidades de mitigación de escasez, buscando mantener mejores niveles en el lago Mead con el propósito de reducir las posibilidades de reducciones en la entrega de volúmenes a los usuarios de la cuenca baja que dependen del nivel de almacenamiento de este lago, también incrementar la habilidad de ambos países para realizar una verdadera planeación del uso y manejo racional e integral del agua a largo plazo, asegurando un crecimiento económico sostenible de la región.

5 Proyectos de cooperación identificados

Revestimiento de 75 km de la red principal del DR014, se obtendría una recuperación de 46 hm^3/año. Se trabaja en un proyecto piloto binacional, ambos países han acordado financiar a partes iguales el proyecto ejecutivo en 2011 y de los resultados que se obtengan se analizará la posibilidad de llevar a cabo las obras. Se prevé que el agua almacenada pueda ser empleada para fines ambientales en esa región. Identificación de sitios para construir plantas desaladoras en Rosarito, B.C., y Puerto Peñasco, Son. Al respecto, se trabaja en un estudio de factibilidad para la planta en Binacional en Playas de Rosarito, B.C., con capacidad de 1,095 l/s en una primera etapa hasta 2,190 l/s como capacidad final, el volumen de agua desalada sería compartido entre México y los Estados Unidos.

Establecimiento de cinco áreas prioritarias de conservación y mapa de necesidades de agua para el ambiente ripario y Delta del Río Colorado. Se trabaja en un proyecto piloto de restauración binacional en el sitio denominado Miguel Alemán, el cual tendrá un costo de 698 mil dólares de los cuales 372,5 ya fueron invertidos por el gobierno de México, los recursos restantes, son aportados por los EUA a partir de 2011. También se trabaja en el monitoreo del acuífero, planes de escasez o sequía, almacenamiento anual y multianual en México y EUA. Se trabaja en la modelación del sistema completo del Río Colorado, en este sentido, se están simulando seis escenarios, tomando en cuenta flujos al Delta, ahorros por modernización y tecnificación para uso ambiental, almacenamiento en presas y/o acuíferos.

6 Retos y cómo enfrentarlos

El escenario futuro se caracteriza por altas tasas de crecimiento demográfico y económico en la zona fronteriza de Baja California - California; cada vez mayor competencia por el agua; escenario desfavorable de variabilidad climática (y posible cambio climático); sobrexplotación y deterioro de fuentes.

Tratar de balancear las necesidades de agua de las ciudades, sector hidroagrícola, medioambiente, no es una tarea fácil, especialmente con un recurso de agua que ya está sobre asignado como el Río Colorado. El gran reto para estos intereses es, encontrar campos comunes en sus usos del agua, esto requerirá de buena voluntad para apartarse de sus demandas históricas de agua.

Es incierto si esto podrá alcanzarse en corto plazo, pero lo que sí es cierto, es que las soluciones creativas para satisfacer las múltiples demandas en la Cuenca del Río Colorado, están siendo implementadas ahora y para el futuro.

7 Conclusiones

Los Gobiernos de México y los EUA se han caracterizado por la gran capacidad de conjuntar esfuerzos para fortalecer las políticas de protección al medio ambiente y los recursos naturales de manera sustentable; la voluntad para cooperar en la búsqueda de acciones conjuntas que mejoren la calidad del medio ambiente y optimicen la calidad de vida de los habitantes de la región fronteriza que comparten ambos países; así como la importancia de fortalecer la cooperación a través de iniciativas sobre asuntos prioritarios de interés común; ambos gobiernos trabajan arduamente para que este esfuerzo de cooperación binacional, sea considerado ejemplo a nivel mundial, en materia de gestión integrada del agua por cuenca.

REFERENCIAS

Comisión Internacional de Límites y Aguas. (1973) *Acta 242 Solución Permanente y Definitiva del Problema de la Salinidad del Río Colorado*.

Comisión Internacional de Límites y Aguas. (1973) *Acta 261 Recomendaciones para la Solución de los Problemas Fronterizos de Saneamiento*.

Comisión Nacional del Agua. (2007) *Estadísticas del Agua en México*, Capítulo II Situación de los Recursos Hídricos

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. *El cambio climático y el agua*. Documento Técnico VI

Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América (1944). Sección III Del Río Colorado.

El Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas como estrategia de gestión territorial para la adaptación al cambio climático en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

NOEL TREJOS CASTILLO
Autoridad del Canal de Panamá, Panamá
ntrejos@pancanal.com

Resumen El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC), a través a modelos de simulación climática, analiza los principales cambios observados y proyectados para todo el planeta a escala de país. Con base en ello, señala que se han observado algunos cambios que podrían escapar de lo que se admite como variabilidad natural del clima, lo cual traerá consigo grandes consecuencias, tanto en diversos sectores productivos, como en los sistemas humanos y ambientales del planeta. Por ello, el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas ofrece una alternativa para afrontar los retos y oportunidades del cambio climático en áreas estratégicas de desarrollo nacional, como es el caso de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, dado que permite tener una visión integradora en materia social, económica y ambiental, incluyendo los mecanismos financieros para implementar iniciativas que faciliten la aplicación de medidas autónomas o planificadas de adaptación al cambio climático a mediano y largo plazo. Consiente a ello, la Autoridad del Canal de Panamá ha venido realizando esfuerzos para la restauración hídrica y forestal de la cuenca, en el marco del Manejo Integrado de cuencas hidrográficas, el cual coadyuvará a aumentar la elasticidad ante los efectos del cambio climático.

Palabras claves Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas; adaptación al Cambio Climático; gestión territorial, Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

1 Cambios observados por efecto del Cambio Climático

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC, 2007) establece que el calentamiento global es inequívoco y tendrá consecuencias sobre los sistemas naturales y humanos del planeta. Según los escenarios que dibujan los estudios científicos, la región de América Latina y el Caribe figura entre las más vulnerables ante los impactos de la variabilidad climática. Lo anterior se debe a que dicha región está localizada dentro de la franja de huracanes, a que tiene numerosos estados insulares y zonas costeras bajas, a que depende de los deshielos andinos para el suministro de agua a los sectores urbano y agrícola, y a que está expuesta a inundaciones e incendios forestales, entre otras particularidades.

En los meses de noviembre y diciembre de 2010, la República de Panamá experimentó algunos eventos climáticos extremos que han sido relacionados con el cambio climático, específicamente con el aumento de la intensidad del fenómeno de la Niña 2010-2011. De acuerdo a varios expertos, el rápido desarrollo e intensificación del fenómeno de la Niña 2010-2011 a partir de agosto 2010 en el Océano Pacífico Tropical, y el fuerte calentamiento observado en las aguas del Océano Atlántico Tropical, propiciaron el desarrollo de una serie de anomalías en la atmósfera media y superior del continente americano, las cuales tienen procesos de interconexión muy complejos de documentar, pero que de una u otra manera repercutieron en las condiciones climáticas de la región, incluyendo en el territorio de Panamá.

La persistencia de estas anomalías trajo consigo fuertes precipitaciones que, por más de 21 días, ocasionaron grandes impactos en los sistemas humanos y naturales del país. Dichos impactos están relacionados con la pérdida de vidas humanas; daños a infraestructura producto de deslizamientos de tierra e inundaciones, pérdidas millonarias en la producción agropecuaria, y la disminución de la producción de agua potable para el abastecimiento de las provincias de Panamá y Colón.

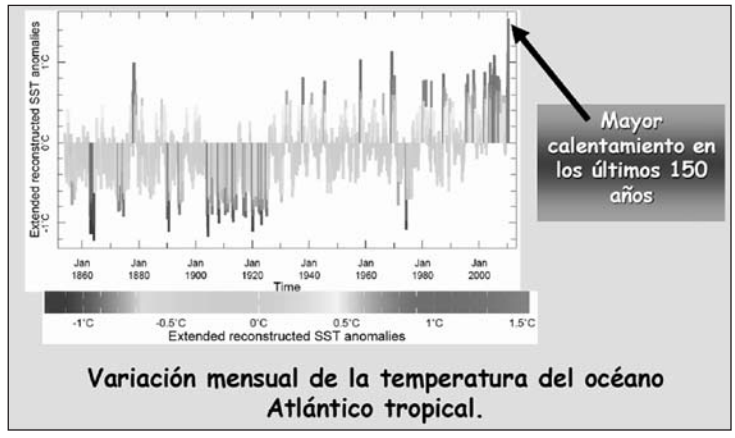


Fig. 1 Variación mensual de la temperatura del océano Atlántico Tropical.
Fuente: CATHALAC, 2011.

En el análisis de los impactos del evento para el 8 de diciembre de 2010, el Sistema Nacional de Protección civil (SINAPROC) reporta aproximadamente 1500 personas afectadas, dos menores fallecidos y un herido por efecto de un alud de tierra. Por su parte, el Ministerio de Desarrollo Agropecuario reporta que en las áreas de Chepo, Darién y Colón, los recientes eventos extremos han causado grandes pérdidas económicas, las cuales hacienden a más de US$ 2.000.000 en el sector pecuario, y a más de US$ 1.500.000 en el sector agrícola.

2 Cambios proyectados por efecto del Cambio Climático

A futuro, el PICC estima una mayor ocurrencia de eventos climáticos extremos y proyecta que la desertificación y la salinización afectarán al 50% de las tierras agrícolas, asociándolas a cuantiosos daños sectoriales de no aplicarse las medidas de mitigación y adaptación necesarias.

Las investigaciones disponibles parecen indicar que aumentarán apreciablemente las precipitaciones intensas en numerosas regiones, en algunas de las cuales disminuirán los valores medios de precipitación (PICC, 2007). El aumento de la variabilidad de precipitación y escorrentía supone un mayor riesgo de crecidas y de sequías, lo cual plantea problemas que deben mirarse desde el punto de vista de la sociedad, su infraestructura y la calidad de sus aguas.

La gravedad y frecuencia de las sequías y crecidas afectarían negativamente al desarrollo de las actividades productivas, a la disponibilidad de agua para consumo humano en la cantidad y calidad necesaria, a los ecosistemas existentes y, en definitiva, son amenazas para el desarrollo sostenible. El aumento de la temperatura afectaría también las propiedades físicas, químicas y biológicas de los lagos y ríos, y los efectos de esto sobre numerosas especies de agua dulce, así como sobre la composición de las comunidades y sobre la calidad del agua, serian predominantemente adversos.

3 El Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas como estrategia de gestión territorial para la adaptación al cambio climático en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

De acuerdo a la revista electrónica *Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas* (2009), el manejo integrado de cuencas hidrográficas ha cobrado gran importancia como unidad de conservación de ecosistemas y del agua, así como del desarrollo agroindustrial, económico y social de los países de la región. Si bien es cierto, las cuencas hidrográficas

prestan una gran variedad de bienes y servicios (cantidad y calidad de agua, fertilidad de suelos, paisaje, biodiversidad, fijación de carbono, entre otros), y satisfacen las necesidades económicas, sociales y ambientales de las comunidades locales, los gestores involucrados en el tema deben incluir el manejo de cuenca como una estrategia de mitigación ante los efectos climáticos, por la captura de carbono por parte de bosques que forman parte de la cuenca, por la restauración y reforestación de su cobertura vegetal, disminución del uso de los productos forestales como combustibles, y por su función en el mantenimiento del balance hídrico. Asimismo el manejo de las cuencas debe ser incluido dentro de la gestión de riesgos ante eventos climatológicos extremos (ciclones, huracanes, inundaciones), cuyos impactos sobre las comunidades y asentamientos urbanos pueden ser notoriamente menores gracias a la barrera natural que ofrecen.

En atención a ello, la Autoridad del Canal de Panamá, en colaboración con la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, 2009), ha realizado el estudio *Elaboración de Mapas de Características Biofísicas-Ambientales de las Subcuencas de Los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia*, cuyos resultados serán parte de los insumos requeridos para el sustento y elaboración de los planes manejo de dichas Subcuencas, y su objetivo fundamental es el de promover el uso sostenido de los recursos naturales y favorecer la conservación de la biodiversidad. En el marco del cambio climático se prevé que la presente iniciativa, de manera colateral, coadyuvará estratégicamente tanto a la adaptación como a la mitigación de los efectos del Cambio Climático.

Entre los resultados del presente estudio, se tienen:

- *El mapa de uso actual de la tierra de las subcuencas de los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia*: Con estos resultados se establecerán indicadores y planes de monitoreo a fin de inferir las tendencias del cambio de uso de la tierra en las Subcuencas antes mencionadas, y sobre ello determinar cuáles son los factores directrices que han llevado a dicho cambio, a fin de establecer las medidas pertinentes para revertir el proceso. Para tener una idea visual de la distribución del uso de la tierra en las cuencas de Los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia, se ha generado la Fig. 2.

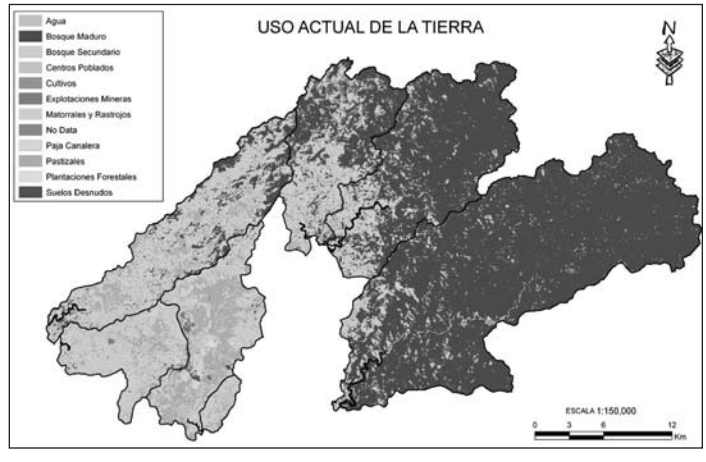


Fig. 2 Mapa de uso actual de la tierra de las subcuencas de Los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia.
Fuente: Autoridad del Canal de Panamá.

- *Mapa de conflicto de uso de la tierra de las Subcuencas de los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia:* Con base en estos resultados se pudo determinar las porciones de tierra de las subcuencas que se encuentran en conflicto de uso de la tierra, es decir,

los lugares donde la vocación de la tierra, considerando sus características agroambientales, le brindan a esa porción de tierra cierta capacidad para su manejo/aprovechamiento y el uso actual que se le está brindando al mismo se encuentra por debajo o sobrepasa dicha capacidad. En la Fig. 3 se presentan los resultados del presente análisis.

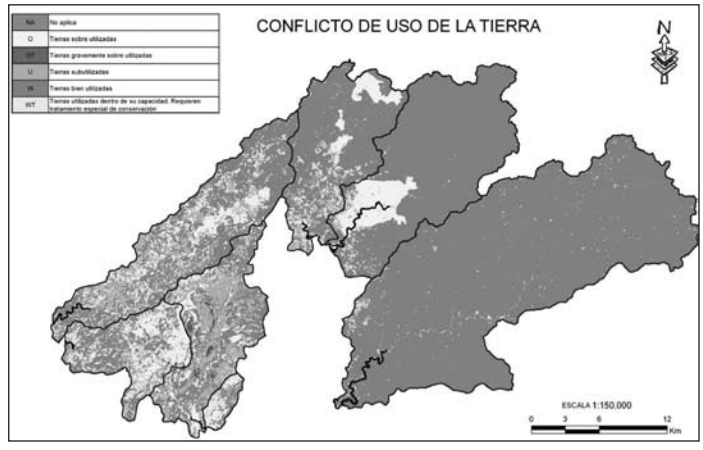


Fig. 3 Mapa de conflicto de uso de la tierra de las subcuencas de los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia.
Fuente: USAID, 2009.

- *Estimación de los bosques de galería/ripiaros de las subcuencas de los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia:* Los resultados de este análisis nos ayudarán a determinar cuáles son los ríos y/o áreas riparinas que requieren mayor atención para proteger las fuentes de aguas de los efectos negativos de la sedimentación y la contaminación. Para dicho análisis fue considerado como cobertura cualquier cobertura tipo boscosa (bosque maduro, bosque secundario, plantación forestal) dentro un ancho de 20 metros a los costados del río, 10 m por cada lado (Fig. 4).

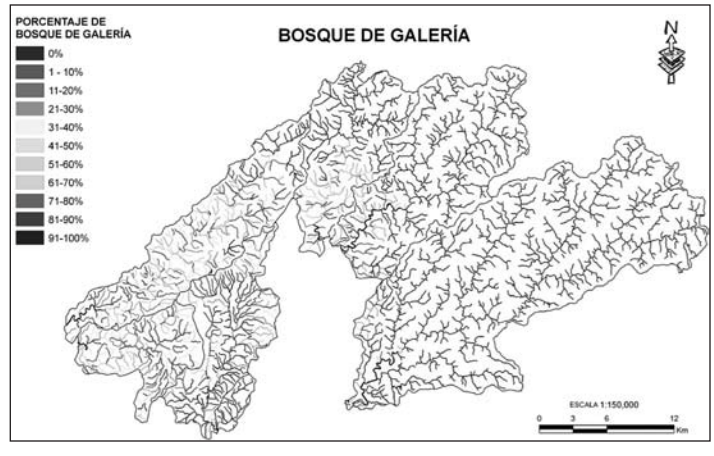


Fig. 4 Mapa de porcentaje de bosques de galería de las fuentes de agua de las Subcuencas de los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia.
Porcentaje de cobertura boscosa en su zona de galería: rojo = 0–10%; verde = 40–70%; azul = >71%.
Fuente: USAID, 2009.

- *Estimación del aporte de sedimentos a las fuentes de agua de las subcuencas de los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia:* A través de dicho análisis se pudo identificar las parcelas dentro de las subcuencas analizadas que aportan la mayor cantidad de sedimentos a las fuentes de agua, lo cual obedece a las características físicas

del suelo, la topografía del terreno, el tipo de cobertura y/o uso de la tierra, y la precipitación. Los resultados de dicho análisis nos permitirán desarrollar proyectos de restauración hídrica y forestal de una manera más específica y referida a espacios geográficos concretos que puedan ser implementados en dicha área de estudio.

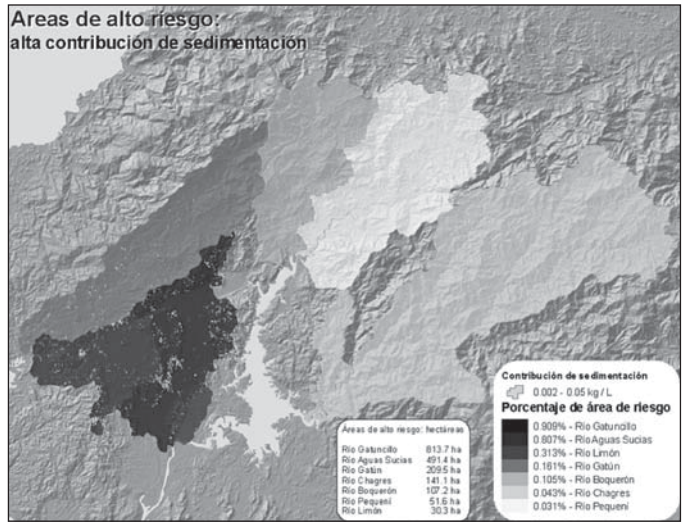


Fig. 5 Mapa de áreas de alto riesgo por la contribución de sedimentación de las fuentes de aguas de las subcuencas de los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón,
Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia.
Fuente: USAID, 2009.

- *Identificación de las áreas de acumulación de sedimentos de las subcuencas de los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia:* Con el presente análisis se pudo identificar cuáles son las zonas de los causes de los ríos de las subcuencas estudiadas en la cual se acumulan los sedimentos luego del proceso de precipitación. A través de dicho análisis se puede inferir acerca de las posibles zonas de riesgos de inundación, y sobre ello tomar las medidas pertinentes para revertir dicho proceso.

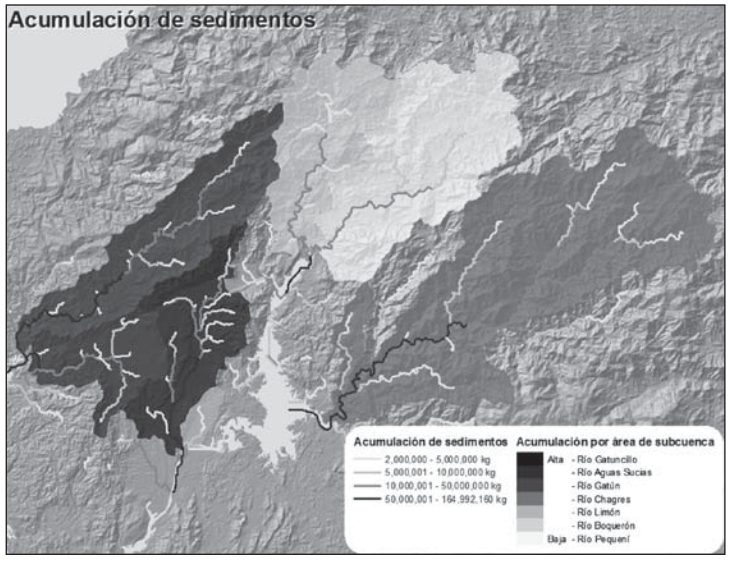


Fig. 6 Mapa de identificación de las áreas de acumulación de sedimentos de las subcuencas de los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia.
Fuente: USAID, 2009.

4 Consideraciones finales

El Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas dentro del contexto de prevención, mitigación y adaptación a los efectos del Cambio Climático, sin duda alguna, juega un rol importante, dado que promueve la gestión coordinada del agua, suelo, y otros recursos naturales bajo un enfoque social, económico y ambiental, que permitirá enfrentar los desafíos y oportunidades del cambio climático de manera operativa, puesto que presenta virtudes en las dimensiones que deben considerarse al momento de plantear la adaptación a los cambios futuros. Consiente a ello, la Autoridad del Canal de Panamá ha venido realizando esfuerzo para la restauración hídrica y forestal de la cuenca que en el marco del Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas coadyuvará a aumentar la elasticidad ante los efectos del cambio climático.

REFERENCIAS

IPCC. (2007) Climate change 2007: *The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers*, WG-I contribution for the Fourth Assessment Report of the IPCAMBIO CLIMÁTICO (version aprobada en la 10ma Sesión del IPCC, Francia, 2007).

CATHALAC. (2011) *Informe de Inundaciones Diciembre de 2010* (en línea). Consultado el 29 de agosto de 2011. www.servir.net/fuertes_lluvias_en_panam%C3%A1_dic_2010.

REDLACH. (2009) *Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas en un contexto de Prevención, Mitigación y Adaptación a los Efectos del Cambio Climático* (en línea). *Revista electrónica de la REDALCH*. Consultado en agosto de 2010. www.rlc.fao.org/es/tecnica/redlach/boletines/revredlach.pdf

USAID. (2008) *Informe Técnico Elaboración de Mapas de Características Biofísicas-Ambientales de las Subcuencas de Los Ríos Chagres, Pequení, Boquerón, Gatún, Gatuncillo, Limón y Agua Sucia*. Información sin publicar.

Comprendiendo el impacto del cambio climático en la cuenca glaciar alpina de la región del Himalaya utilizando el modelo hidrológico J2000

SANTOSH NEPAL, PETER KRAUSE, WOLFGANG-ALBERT FLÜGEL, MANFRED FINK Y BJÖRN PFENNIG

Departamento de Geoinformática, Hidrología y Modelación (DGHM), Friedrich-Schiller University (FSU) Jena, Alemania

Resumen En el contexto del cambio climático global, el régimen hidrológico de una montaña alpina podría verse afectado. Esto podría tener graves implicaciones en cuanto a la disponibilidad de agua río abajo a corto y largo plazo. Por lo tanto, la comprensión de la dinámica hidrológica es vital para la estimación de la oferta y demanda del agua. Este documento presenta los resultados de la modelización hidrológica en una cuenca glaciar alpina a meso-escala en la cordillera del Himalaya. El modelo hidrológico J2000, distribuido y orientado al proceso, se aplicó en el área de estudio, donde fue capaz de simular el flujo del río y la escorrentía de deshielo de la nieve y de los glaciares. El modelo fue capaz de reproducir efectivamente la dinámica hidrológica de escurrimiento general. Los flujos de gama baja y media fueron muy bien reproducidos, inclusive a un cierto grado de flujo máximo. La temperatura máxima mostró una tendencia ascendiente de 0.047º C por año entre 1963 y 2007. El aumento hipotético en los escenarios de temperatura (+2 y +4° C) indicó que el caudal total será mayor. Si bien el volumen total de deshielo será menor, en los procesos de deshielo hubo un aumento significativo durante el período pre-monzón. Esto indica que la región es particularmente vulnerable al cambio climático global y al riesgo asociado a la disponibilidad de agua en las zonas bajas en el futuro.

Palabras clave Himalaya; modelo hidrológico J2000; dinámica hidrológica; cambio climático

1 Introducción y motivación

La cuenca del glaciar alpino de la región del Himalaya es un sistema hidrológico único que sustenta la vida de millones de personas que viven aguas abajo. La nieve y el derretimiento de glaciares tienen un significado particular para las comunidades aguas abajo durante períodos de escasez de agua. Al mismo tiempo, las inundaciones durante la temporada de monzones siempre causan graves daños en las vidas de las personas que viven aguas abajo (Eriksson *et al*, 2009). Las zonas montañosas desempeñan un papel clave en la hidrología, ya que suelen recibir una gran cantidad de precipitación, que es almacenada en forma de nieve y glaciares, y liberada gradualmente en el proceso de derretimiento. En el contexto del cambio climático global, la disponibilidad futura de recursos hídricos en la región es de gran preocupación. Por lo tanto, la comprensión del actual régimen hidrológico de estos sistemas fluviales es fundamental. Es posible la comprensión del mismo cuando se tiene un mayor entendimiento de los sistemas fluviales, y cuando se evalúa cuantitativamente la relación entre los diferentes componentes de las cuencas hidrográficas (como el suelo, las aguas subterráneas, los glaciares y la nieve) y el flujo de corrientes (Armstrong, 2011).

El proceso de comprensión de la dinámica hidrológica de los sistemas fluviales en la región del Himalaya es una tarea difícil, principalmente debido a la falta de datos representativos (Alford, 1992; Sharma, *et al*, 2000), la incertidumbre (Kattelmann, 1987), y la complejidad de una cuenca a meso-escala (Krause, 2002; Alford, 1992). Sin embargo, es muy importante entender el sistema hidrológico de las montañas alpinas del Himalaya para poder entender mejor el impacto del cambio climático global en los recursos hídricos y, posteriormente, en la disponibilidad de agua en el futuro. Para ello, el modelo hidrológico J2000, desarrollado por el Departamento de Geoinformática, Hidrología y Modelación de la Universidad de Friedrich-Schiller (FSU Jena), (Krause, 2001; Kralisch *et al*., 2007)

ha sido utilizado y adaptado en el contexto de las necesidades específicas del sitio, para entender las dinámicas del sistema hidrológico de la cuenca del río Dudh Kosi en el Himalaya.

El principal objetivo del estudio fue entender la dinámica hidrológica de la cuenca glaciar de la región del Himalaya utilizando el modelo hidrológico J2000. Además, dos escenarios de temperatura fueron implementados para analizar el impacto del cambio climático global sobre la nieve y los procesos de deshielo de los glaciares.

2 Descripción de la Cuenca

La cuenca del Río Dudh Kosi, localizada en la parte este del Himalaya Nepalés, ha sido seleccionada para el estudio (Fig. 1). La cuenca es una de las sub-cuencas del Río Kosi, localizado en el Himalaya, extendiéndose desde el Tibet hasta las llanuras del Ganges, en la India. El área total de la cuenca de Dudh Kosi es de 3.711 Km^2. La misma es caracterizada por una topografía bastante empinada y por montañas bastante jóvenes y frágiles (Fig. 1). El punto más alto del mundo, el Monte Everest, (de 8.848 metros de altura) también se localiza en la cuenca, junto con otros puntos de más de 7000 msnm. Alrededor de un 30% del terreno se localiza a una altura superior a los 5000 m, y 32% del terreno se encuentra entre los 3000-5000 m de altura. En décadas recientes, los glaciares han estado retrocediendo a ritmos mayores, formando muchos lagos glaciares en la región del Himalaya (Mool, *et al*, 2001).

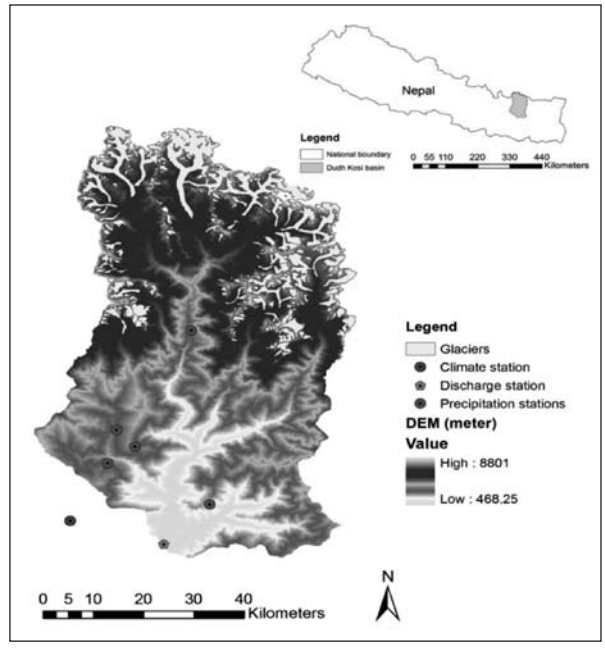


Fig. 1 La cuenca del río Dudh Kosi.

Por lo tanto, la respuesta en el contexto del cambio climático global es una creciente inquietud en la región para efectos de planificación para la sostenibilidad de los recursos hídricos. La cuenca presenta un clima subtropical y templado en las zonas de menor altitud. Las zonas de mayor altitud presentan un clima subalpino y alpino asociado a la baja temperatura (MoFSC, 2002). Aproximadamente el 81% de la precipitación total se produce entre junio y septiembre, cuando el monzón de verano trae consigo aire húmedo del Golfo de Bengala. Durante este período, la región recibe intensas lluvias que provocan inundaciones y daños a vidas y propiedades.

3 Modelación del sistema J2000

El modelo hidrológico J2000 (Krause, 2002) es un modelo hidrológico distribuido, orientado a procesos para simular el balance hídrico de grandes cuencas, desarrollado dentro del marco del Sistema de Modelación Adaptable Jena (JAMS, por sus siglas en inglés) (Kralisch *et al*., 2007). El diseño de los componentes del modelo se muestra en la Fig. 2. Un módulo glaciar se ha incorporado al sistema de modelos para comprender el derretimiento de los glaciares en la cuenca. El módulo calcula el agua de deshielo que procede de la nieve y del hielo. El derretimiento del hielo se calcula utilizando el factor día-grado improvisado (Hock, 1999) y ha sido posteriormente modificado mediante la adopción del factor radiación, el factor pendiente y el factor de cobertura de detritos. La descripción detallada del modelo y sus componentes se describen en Krause, 2001; Krause, 2002, y Krause *et al*., 2006. El modelo J2000 contiene los siguientes módulos: Módulo de nieve, módulo glaciar, módulo de suelo, módulo de agua subterránea y el módulo de enrutamiento de inundaciones. Todos los módulos contienen una serie de parámetros de calibración que deben adaptarse basados comparaciones con el caudal medido.

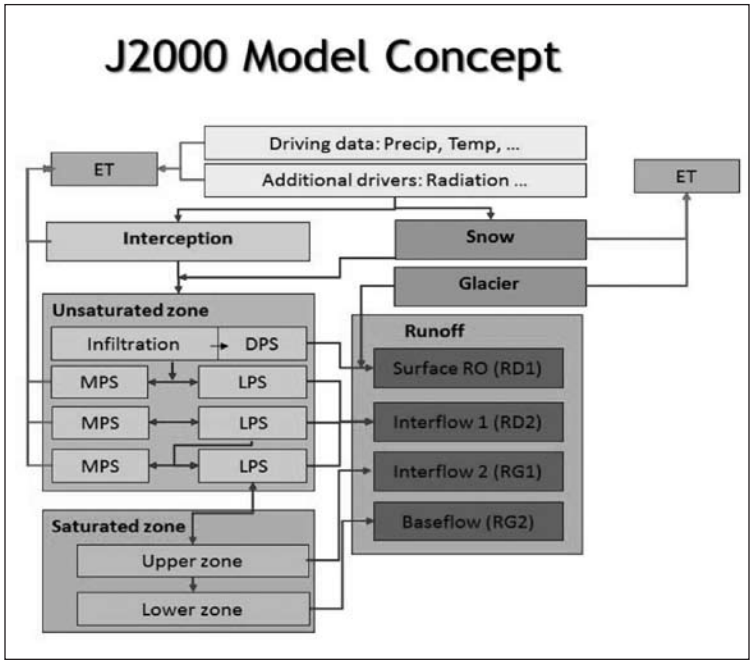


Fig. 2 Diseño conceptual principal del modelo J2000.

4 Datos de entrada

Los datos de cobertura terrestre se derivan de GlobCover (Mayo 2005 - Abril 2006). Alrededor del 14% de la superficie de la cuenca está cubierta por glaciares (Fig. 1). La cuenca de Dudh Kosi es una de las regiones de Nepal más densamente cubierta por glaciares, pues comprende 273 glaciares, con un volumen de hielo estimado en 51 Km^3 (Mool *et al*., 2001). Casi el 50% de la cuenca está cubierta por bosques (incluyendo de hoja caduca, coníferas y bosques de tipo mixto). Alrededor de 50% de los glaciares se encuentra por debajo de los 5,500 msnm, lo que indica que son muy sensibles a los cambios recientes en el clima global. Los datos sobre el suelo se derivaron del conjunto de datos Soil and Terrain (Suelo y Terreno, SOTER en inglés).

Los datos de entrada necesarios para la modelación fueron tomados de estaciones de observación dentro y alrededor de la cuenca del río Kosi Dudh, y fueron recolectados y manejados por el Departamento de Hidrología y Meteorología (DHM) de Nepal. Seis estaciones de precipitación y una estación de datos climáticos fueron utilizadas para este propósito. Los conjuntos de datos incluyen temperatura del aire, precipitación, horas sol, velocidad del viento y humedad relativa. La calidad del conjunto de datos fue probada estadísticamente utilizando el análisis de doble masa. No se encontró ningún comportamiento anormal de los datos durante el período de ejecución del modelo.

Las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs en inglés) se aplican como entidades modelo, la cuales se derivan de la información distribuida espacialmente sobre la topografía, el uso de la tierra y el tipo de suelo. Las HRUs son entidades modelo espaciales que se definen como entidades heterogéneas, estructuradas y distribuidas, que tienen un clima, uso de suelo y geología común que controla su dinámica hidrológica (Flügel, 1995). Las HRUs fueron delineadas mediante la superposición del modelo digital de elevación, cobertura del suelo y mapa de suelos en un entorno de información arcGIS.

5 Resultados y discusión

La precipitación media anual de la cuenca es de 1.934 mm. La estación de temperatura localizada a los 1720 m presentó una tendencia de aumento en la temperatura desde 1963 hasta 2007, a una tasa de 0.047º C / año. La tendencia se calcula utilizando una estimación no paramétrica de la pendiente Sen (Sen, 1968). También se halló que la tendencia de la temperatura máxima para todo Nepal aumentó a una tasa de 0,6º C por década, desde 1978 hasta 1999 (Shrestha, *et al*, 1999). Diversos estudios basados en modelos climáticos regionales (MCR) predijeron que la temperatura en el sub-continente se elevará entre 3,5 y 5,5º C para el año 2100 (Rupa Kumar *et al*., 2006). Esto indica que la cuenca es sensible a la variabilidad y cambio climático, lo que podría afectar el régimen hidrológico de la misma.

El modelo se aplicó diariamente desde 1985 hasta 1997. El primer año fue utilizado como un período de inicialización. La precipitación simulada fue de 2114 mm. Alrededor del 71% de esta se utilizó para producir un flujo de corriente y el 21% se utilizó para evaporación. Casi el 8% de la precipitación se almacenó en la cuenca en forma de nieve. La contribución total de la nieve y el glaciar al flujo de corriente fue de aproximadamente 33%, de los cuales solamente los glaciares aportaron alrededor del 17% (incluyendo 5% del deshielo glaciar). Del mismo modo, el deshielo no procedente de áreas glaciares aportó alrededor de 16,5%, de los cuales más del 50% fue aportado por la lluvia sobre superficie de nieve. El fenómeno *agua nieve* es de alta incidencia en zonas de baja altitud; la proporción disminuye en zonas de mayor altitud. La Fig. 4 muestra la contribución de la nieve y el deshielo de los glaciares al flujo de corriente. La proporción de contribución durante la estación lluviosa (junio-septiembre) es de aproximadamente 39%, incluyendo también la contribución de la lluvia en la nieve. La contribución en abril y mayo es de aproximadamente 61% y 75% respectivamente, lo que indica la importancia de los glaciares y el deshielo durante el período pre-monzón.

La comparación entre el promedio de escorrentía mensual simulado y el observado (Fig. 3) muestra un ajuste razonablemente bueno durante todo el año. La simulación del período de bajo flujo es bastante buena, y los meses de alto flujo muestran estar ligeramente por encima o por debajo de las estimaciones. El promedio de escorrentía diario simulado y observado para el período entero también muestra un buen ajuste (figura no incluida). Los flujos de gama baja, en su mayoría del flujo de base, están bien representados la mayoría de las veces. Del mismo modo, las ramas ascendentes y descendentes durante el periodo pre y post-monzón han sido correctamente capturadas. El modelo

también simula correctamente los picos de crecida, que en su mayoría ocurren durante el periodo del monzón, a pesar que se puedan ver algunas variaciones en forma de sobre y sub predicción. El modelo es capaz de reproducir la dinámica de escorrentía total de la cuenca bastante bien. Los resultados de la eficiencia del modelo también muestran un buen desempeño entre la descarga observada y simulada. En general, el resultado de la eficiencia es bastante satisfactorio, con los siguientes valores que lo confirman: Nash-Sutcliffe (0,85), logaritmo de Nash-Sutcliffe (0,93), coeficiente de determinación (0,85) y Error cuadrático medio (ECM) (84) para el período entero.

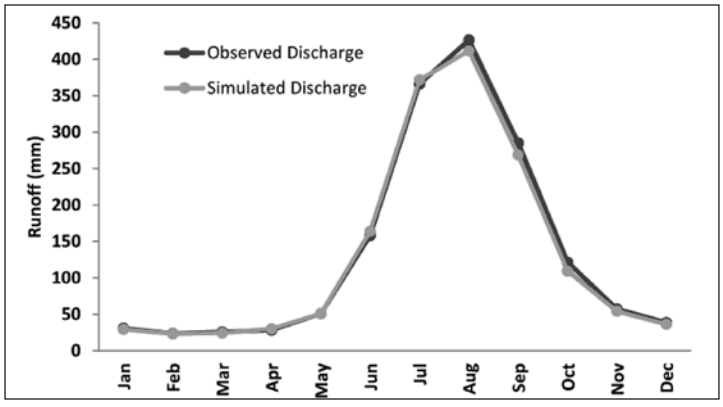


Fig. 3 Promedio mensual de descarga simulada (rojo) y observada (azul) (1986-1997).

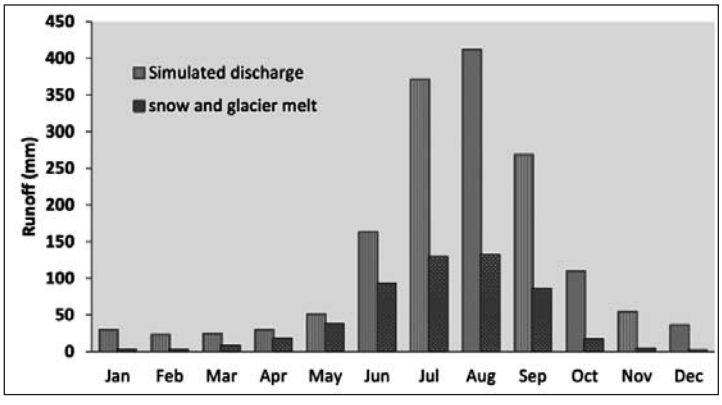


Fig. 4 Contribución del deshielo de la nieve y glaciares al flujo de corriente. Descarga simulada (rojo). Deshielo de nieve y glaciares (azul).

6 Escenarios de cambio de temperatura

La naturaleza distribuida del modelo hidrológico J2000 permite evaluar los escenarios de temperatura con facilidad en el contexto de modelación. Los escenarios incrementales o escenarios de síntesis describen una técnica en donde determinados elementos del clima cambian incrementalmente en cantidades aleatorias, aunque plausibles (por ejemplo, cambios de +1, +2 y +3º C de la temperatura del aire de referencia y cambios de 10% y 20% de la precipitación de referencia) (IPCC, 2001). En este estudio se aplican los escenarios de incremento del clima de 2° C (escenario 1) y de 4º C (escenario 2) sobre la temperatura de referencia. El aumento de temperatura en el contexto de modelación significa un aumento de la temperatura máxima, mínima y media. Una serie similar de aumento de temperatura en la región ha sido reportada en diferentes literaturas basada en resultados RCMS para el año 2100 (Rupa Kumar, 2006). Es probable que el aumento de temperatura incremente

el hidrograma en la mayoría de los meses. La estación del monzón tendrá picos más altos en los escenarios, más visiblemente entre los meses de abril a septiembre. En el mes de abril, el volumen de escorrentía aumentará un 44% y 105% en los escenarios 1 y 2, respectivamente. Por otro lado, en el mes de mayo, el mismo es de 42% y 85%. El caudal anual incrementará un 10% y 18% en los escenarios 1 y 2, respectivamente (Fig. 5).

Los escenarios cambiarán el hidrograma de derretimiento de nieve en gran medida (Fig. 6). La cantidad de deshielo disminuirá a - 30 y - 59% en los escenarios 1 y 2, respectivamente. Después de mayo, el derretimiento de nieve disminuirá en gran medida en ambos escenarios y la magnitud será mayor en el escenario 2. En promedio, durante la temporada del monzón, la cantidad de deshielo disminuirá a 39% y 73% en los escenarios 1 y 2, respectivamente. Esto se debe principalmente a que una tendencia de incremento en temperatura desplazará la línea de nieve a una mayor altitud, y por lo tanto disminuirá la capacidad de almacenamiento de nieve de la cuenca. Como la temporada de lluvias coincide con el período de verano, es probable un descenso general en el deshielo, ya que habrá menos ocurrencia de nieve en la cuenca, particularmente en las áreas de menor altitud. Durante el período pre-monzón (marzo-mayo), el escenario 1 producirá un deshielo ligeramente superior al de referencia. Sin embargo, en el escenario 2, el deshielo será mayor hasta abril, y de allí disminuirá gradualmente. Esto se debe a que la nieve que se almacena en la cuenca durante el periodo de invierno se derrite durante el período pre-monzón. A medida que avanzan los meses hacia la temporada de verano, la temperatura aumenta y hay menos ocurrencia de nieve. El aumento de la temperatura del aire que genera el caudal total superior es sensible, sin embargo, la cantidad de deshielo disminuye.

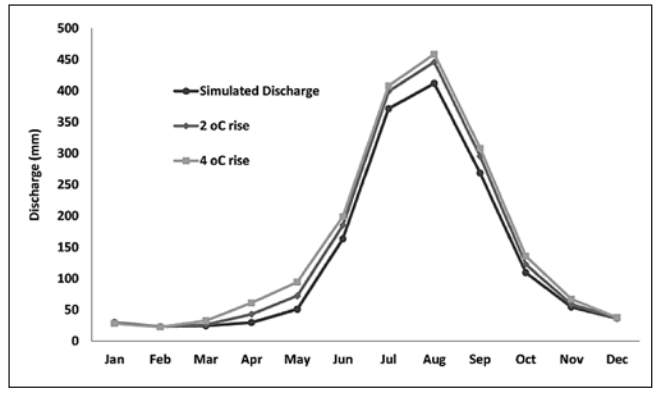


Fig. 5 Cambio en el hidrograma de acuerdo a los cambios de temperatura de +2 y +4º C.

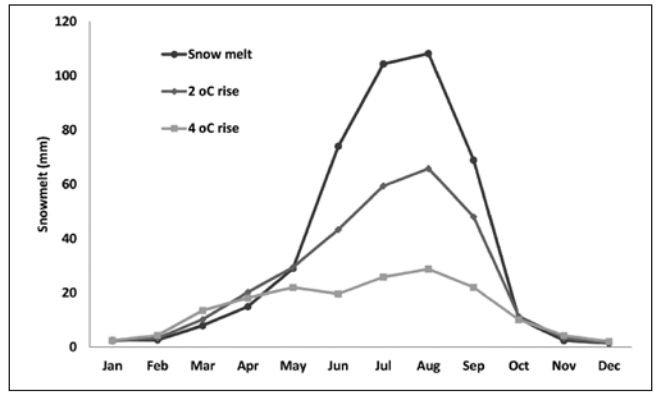


Fig. 6 Cambio en el patrón de derretimiento de nieve de acuerdo a los cambios de temperatura de +2 y +4º C.

7 Conclusión y perspectiva

El modelo J2000 demostró su capacidad de simular efectivamente la dinámica hidrológica de la cuenca del río Dudh Kosi. Este estudio proporciona una base para la aplicación del modelo hidrológico J2000 en la cuenca glaciar alpina dominada por el monzón en la región del Himalaya. El aumento hipotético en los escenarios de temperatura indica que se incrementará el caudal total. A pesar que la contribución total del deshielo disminuyó en ambos escenarios, se observó un aumento en el derretimiento de nieve durante el periodo pre-monzón y una gran disminución durante el periodo del monzón. Al mirar la contribución del deshielo a los caudales, vemos que la cuenca es vulnerable al cambio climático global. Esto se debe principalmente a que la alta temperatura desplazará la línea de nieve a una mayor altitud, y por lo tanto reducirá la capacidad de almacenamiento de nieve de la cuenca. Esto tendrá un impacto negativo en la disponibilidad futura de agua en la región aguas abajo.

REFERENCIAS

Alford, D. (1992) *Hydrological aspects of the Himalaya region*. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Kathmandu, Nepal.

Armstrong, R.L. (2011) *The glaciers of the Hindu Kush Himalaya region, a summary of the science regarding glacier melt/ retreat in the Himalayan, Hindu Kush, Karakoram, Pamir, and Tien Shan mountain ranges*.

Eriksson, M; Jianchu X; Shrestha, AB; Vaidya RA; Nepal S; Sandström, K. (2009) *The Changing Himalayas Impact of climate change on water resources and livelihoods in the greater Himalayas.* International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Kathmandu, Nepal.

Flügel, W.A. (1995) Delineating hydrological response units by geographical information system analyses for regional hydrological modeling using PRMS/MMS in the drainage basin of the River Broel, Germany. *Hydrological Processes* 9 (3/4).

Hock, R. (1999) A distributed temperature index ice and snowmelt model including potential direct solar radiation. *Journal of Glaciology* 45 (149), 101–112.

IPCC. (2001) *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T.,Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

Kattelmann, R. (1987) Uncertainty in assessing Himalayan water resources. *Mountain Research and Development*, Vol 7, No. 3, 279-286.

Kralisch, S., P. Krause, M. Fink, C. Fischer, and W. Flügel. (2007) *Component based environmental modeling using the JAMS framework*, in Proceedings of the MODSIM 2007 International Congress on Modeling and Simulation, edited by D. Kulasiri and L. Oxley, Christchurch, Nueva Zelanda.

Krause, P. (2002) Quantifying the Impact of Land Use Changes on the Water Balance of Large Catchments using the J2000 Model. *Physics and Chemistry of the Earth* 27, 663–673.

Krause, P., Bende-Michl, U., Bäse, F., Fink, M., Flügel, W-A. and B. Pfennig. (2006) Multiscale Investigations in a mesoscale Catchment – Hydrological Modelling in the Gera Catchment. *Advances in Geosciences* 9:53-61.

MoFSC. (2002) *Forest and Vegetation types of Nepal*. Ministry of Forest and Soil Conservation, Government of Nepal and Natural Resource Management Sector Assistance Programme (NARMSAP), TISC Document Series, No. 105.

Mool, P.K.; Bajracharya, S.R.; Joshi, S.P. (2001*) Inventory of Glaciers, Glacial Lakes, and Glacial Lake Outburst Flood Monitoring and Early Warning Systems in the Hindu Kush-Himalayan Region – Nepal*. Kathmandu: ICIMOD.

Rupa Kumar, K; Sahai, AK; Krishna Kumar, K; Patwardhan, SK; Mishra, PK; Revadkar, JV; Kamala, K; Pant, GB. (2006) High resolution climate change scenario for India for the 21st Century. *Current Science* 90: 334-345.

Sen, P. K. (1968) Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau.
Journal of American Statitistical Association 63: 324, 1379-1389.

Sharma, K. P., Vorosmarty, C. J., and Moore, B. (2000) Sensitivity of the Himalayan Hydrology to Land-use and Climatic Changes. *Climate Change* 47, 117–139.

Shrestha, A. B.; Wake, C.P.; Mayewski, P.A.; Dibb, J.E. (1999) Maximum Temperature Trends in the Himalaya and Its Vicinity: An Analysis Based on Temperature Records from Nepal for the Period 1971-94. *Journal of Climate* 12: 2775-2787.

2. Fortalecimiento de la gobernabilidad y las instituciones

La Cuenca Binacional del Río Sixaola

ALFONSO SANABRIA A.
Manejo Integrado de Ecosistemas de la Cuenca Binacional del Río Sixaola, Changuinola, Bocas del Toro, Panamá
sanabria_alfonso@yahoo.com

Resumen La Cuenca Binacional del Río Sixaola se localiza en la parte fronteriza entre Panamá y Costa Rica, en el extremo oeste de ambos países. Posee una extensión de 289.000 ha (81% en Costa Rica y 19% en Panamá), desde las cordilleras de Talamanca (Costa Rica) y Central (Panamá), hasta la costa del Caribe, alcanzando una altitud máxima de 3.820 msnm (Cerro Chirripó). La Cuenca se estructura en tres subcuencas: la alta (204.000 ha); la media (51.000 ha), que comprende el valle de Talamanca; y la baja (34.000 ha), en donde se localiza el valle del Río Sixaola. Posee seis áreas silvestres protegidas. Una de las problemáticas más relevantes en la Cuenca Binacional es la pobre calidad del agua que se está suministrando a los usuarios, lo cual está directamente relacionado con el manejo y tratamiento inadecuado del recurso en la fuente de captación y tanques de almacenamiento. Los impactos de estas deficiencias son evidentes en la salud pública, los mismas se reflejan en las elevadas tasas de mortalidad infantil, registros de enfermedades diarreicas y de la piel. En vista de la importancia de esta Cuenca Binacional, y para dar respuesta a los retos que su gestión enfrenta, se estableció el Proyecto Manejo Integrado de Ecosistemas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola.

Palabras clave Cuenca Binacional; Sixaola; Gestión Integrada de Ecosistemas

1 Introducción

La Cuenca Binacional del Río Sixaola se localiza en la parte fronteriza entre Panamá y Costa Rica, en el extremo oeste de ambos países. Posee una extensión de 289.000 ha (81% en Costa Rica y 19% en Panamá), desde las cordilleras de Talamanca (Costa Rica) y Central (Panamá), hasta la costa del Caribe, alcanzando una altitud máxima de 3.820 msnm (Cerro Chirripó). La Cuenca se estructura en tres subcuencas: la alta (204.000 ha); la media (51.000 ha), que comprende el valle de Talamanca; y la baja (34.000 ha), en donde se localiza el valle del Río Sixaola.

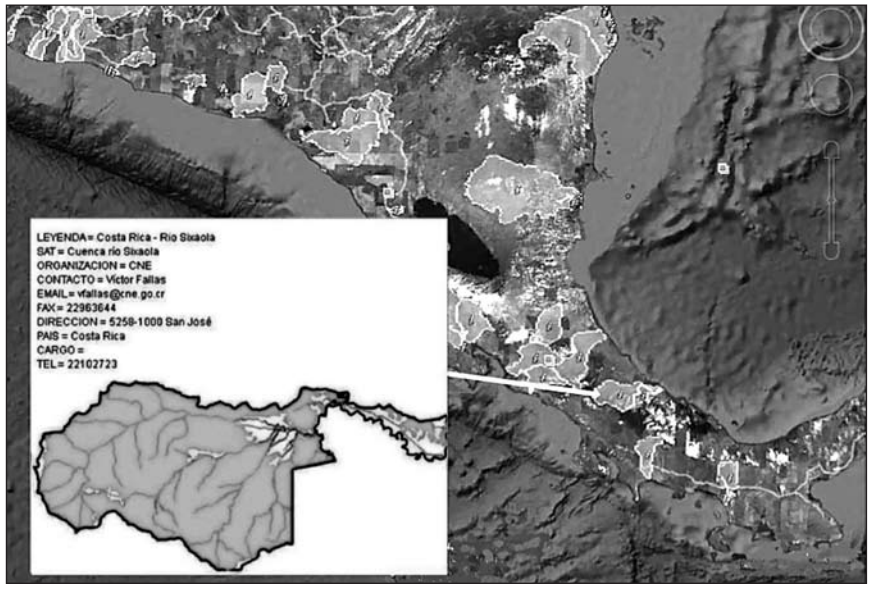


Fig. 1 Ubicación geográfica de la Cuenca del Río Sixaola.

Posee seis (6) Áreas Silvestres Protegidas (ASP) (143.000 ha en total, 121.000 ha en Costa Rica y 22.000 ha en Panamá. En Costa Rica: Parque Internacional La Amistad, Parque Nacional Chirripó, Reserva Biológica Hitoy Cerere y Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (Sitio RAMSAR). En Panamá: Parque Internacional La Amistad, Humedal de San San Pond Sack (Sitio RAMSAR) y Bosque Protector Palo Seco. Cuatro de las ASPs son transnacionales. Además hay que añadir la existencia de seis territorios indígenas que funcionan como áreas de amortiguamiento de las ASPs, albergando extensas masas boscosas y altos niveles de biodiversidad. En Costa Rica (86.698 ha): Bribri y Cabécar de Talamanca, Bribri de KeköLdi y Cabécar de Telire, constituidos legalmente como Reservas. En Panamá (26.090 ha): Bribri y Naso-Teribe, y recientemente pobladores de las etnias Ngöbe y Buglé, ninguna constituida legalmente como Comarca.

Habitantes: Se calcula que la Cuenca está habitada por 33.500 personas, de las cuales el 58% vive en Costa Rica (Municipalidad de Talamanca) y el 42% restante en Panamá (Municipalidad de Changuinola). En la subcuenca alta viven 848 habitantes de los grupos étnicos Bri Bri y Cabécar (0,0042 hab/ha); en la subcuenca media, 8.375 habitantes (0.16 hab/ha), el 94% de los cuales son indígenas Bri Bri y Cabécar, y en la subcuenca baja hay 24.358 habitantes (0,72 hab/ha), predominando la población latina y, en menor medida, afrocaribeños y grupos indígenas nativos (Bri Bri y Cabécar) y no nativos (Ngöbe-Buglé).

Usos de suelos: En Costa Rica la población indígena Bri Bri y Cabécar cultiva bananas orgánicas (2.450 ha) y maneja sistemas agroforestales (3.600 ha). En la llanura anegable fértil de la parte baja de la cuenca hay extensas plantaciones comerciales de banana (12.400 ha). En los márgenes de los territorios indígenas Bri Bri y Cábecar, y en la cuenca del río Yorkin, se llevan a cabo actividades de pastoreo de ganado promovido por ladinos y habitantes indígenas (Ngöbe-Buglé).

En Panamá, en las laderas de las colinas y en la llanura anegable de la subcuenca baja también se da el pastoreo de ganado. En estas zonas, no menos de 3.340 ha están sujetas a un uso de la tierra que genera conflictos y contribuye a la degradación de la tierra y a la erosión del suelo. En estas áreas, las prácticas de tala y quema de la vegetación para crear pastizales contribuyen a la erosión del suelo durante la estación lluviosa.

Recurso hídrico y sus usos: Se estima que los bosques de la Cuenca captan 2.685 mm de precipitación por año, lo que da lugar a un flujo medio plurianual de 172 m^3/ s, es decir, un volumen de 5.456.000 m^3/año. En la subcuenca alta, el agua en general es de buena calidad, pero las aguas de las subcuencas media y baja se ven afectadas por la contaminación, principalmente provocada por las actividades agropecuarias y los asentamientos humanos.

El río Sixaola es utilizado para la navegación, y hay establecidos acueductos rurales para cubrir las necesidades básicas de algunas comunidades. Las que no cuentan con acceso a estos acueductos deben utilizar el agua directamente de los cuerpos que conforman la cuenca.

Una de las problemáticas más relevantes en la cuenca Binacional es la calidad del agua que se está suministrando a los usuarios, cuya mala calidad está directamente relacionada con el manejo y tratamiento inadecuado del recurso en la fuente de captación y en los tanques de almacenamiento. Los impactos de estas deficiencias son evidentes en la salud pública, ya que las mismas se reflejan en las elevadas tasas de mortalidad infantil y en los registros de enfermedades diarreicas y de la piel.

Funciones ambientales: La cuenca provee funciones ambientales fundamentales, como filtración de sedimentos, almacenamiento de agua, recarga de acuíferos, disipación de energía y hábitat para peces y fauna silvestre. Su cubierta forestal protege los suelos frágiles de las zonas montañosas. De igual forma, la cubierta forestal mitiga los efectos de los desastres naturales, tales como tormentas tropicales y terremotos, al actuar como una *esponja* reguladora frente a las lluvias torrenciales, y reduce la vulnerabilidad frente a las inundaciones repentinas y los deslizamientos de lodo y tierra. Ella cumple además con una función de retención y estabilización de laderas

pronunciadas y zonas de tierra altas durante los terremotos. Además, los bosques, en conjunto con los sistemas agroforestales indígenas, captan un volumen de carbono que se estima en 647.444 toneladas (las cuales representan 2.374.000 toneladas de CO_2) por año, lo que contribuye a mitigar el cambio climático. Finalmente, la belleza natural que aportan los diversos ecosistemas, combinada con los valores culturales representados en la cuenca, ofrece singulares condiciones para el turismo.

Biodiversidad: Como hemos mencionado con anterioridad, el Parque Internacional La Amistad se ubica en esta Cuenca. En él encontramos una variada gama de ecosistemas, con una exuberante diversidad biológica. Por ejemplo, en la Cuenca habita el Jaguar (*Phantera onca*), un indicador biológico que señala el buen estado natural de un sitio.

Gestión de zonas protegidas: En Costa Rica, las leyes que rigen las zonas protegidas son mucho más restrictivas que las de Panamá, y al tiempo más ambiguas en cuanto al tema de la cogestión. La Contraloría no prohíbe la cogestión, pero reconoce la necesidad de elaborar procedimientos y políticas que la formalicen. La Legislación Panameña, por otro lado, prevé la cogestión de zonas protegidas a través de concesiones, y los procedimientos de aplicación son relativamente claros.

Gestión de zonas fronterizas protegidas: La administración del PILA ha sido calificada como deficiente por las Contralorías de Costa Rica y de Panamá, por lo que se ha encomendado a las Autoridades Ambientales de ambos países. Las Autoridades Ambientales y las organizaciones de la sociedad civil participantes reconocen la necesidad de mejorar la integración de las zonas costeras fronterizas protegidas (San San Pond Sack y Gandoca Manzanillo), lo que implica planes de gestión armonizados y actividades de gestión conjuntas.

Territorios Indígenas: Los territorios indígenas y el régimen de autonomía de los pueblos indígenas han sido reconocidos en leyes nacionales específicas, así como en el convenio No 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), ratificado por ambos países. En Costa Rica, la Ley 6172 establece que el gobierno indígena está constituido por las Asociaciones de Desarrollo Integral (ADI), y en Panamá se ha dispuesto que cada uno de los territorios debe definir su forma de gobierno. Dentro de los territorios, los gobiernos indígenas actúan con relativa autonomía.

2 Proyecto Manejo Integrado de Ecosistemas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola

Este Proyecto se inscribe en el marco de una serie de acuerdos suscritos por los gobiernos de Costa Rica y Panamá. En 1991, los Vicepresidentes de ambos países suscribieron la Resolución No 4-91, por la cual se comprometían a promover el desarrollo de zonas fronterizas en beneficio de la integración regional.

En ese mismo año, ambos gobiernos suscribieron un acuerdo sobre zonas protegidas fronterizas, en virtud del cual se estableció oficialmente el Parque Internacional la Amistad (PILA), así como el Convenio de Cooperación para el Desarrollo Fronterizo Costa Rica-Panamá. Por este último acuerdo se estableció una Comisión Binacional Permanente encargada de fortalecer y facilitar los programas de integración y promover la gestión integrada de la zona binacional.

En 2003-2004, con el apoyo de una donación del BID, se dio forma a una Estrategia Regional de Desarrollo Sostenible de la Cuenca Binacional del Río Sixaola, mediante la participación de todos los principales interesados.

En 2008 se firma el Convenio de Financiamiento no Reembolsable de Inversiones del Fondo para el Medio Ambiente Mundial No. GRT/FM-10575-RS. A partir de entonces se da inicio a la ejecución del Proyecto Manejo Integrado de Ecosistemas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola.

3 Objetivos del proyecto

Contribuir al uso sostenible de los recursos suelo y agua, y a la conservación de la biodiversidad, a través de la creación de un ambiente favorable para el manejo integrado e intersectorial, en la Cuenca Binacional del Río Sixaola.

4 Componentes del proyecto

- Fortalecimiento de los marcos institucionales y capacidades técnicas y operativas necesarias para una gestión integrada
- Promoción de prácticas productivas y compatibles con la conservación y el uso sostenible de los recursos hídricos y del suelo
- Conservación y uso sostenible de la biodiversidad

5 Unidad Técnica Binacional del proyecto

- Coordinador del Proyecto, Alfonso Sanabria
- Especialista en Recursos Naturales, Marietta Fonseca
- Administrador del Proyecto, Edgar Sánchez
- Representante de la ANAM (autoridad ambiental de Panamá), Fernando González
- Representante del MINAE (autoridad ambiental de Costa Rica), Marcelo Pacheco

REFERENCIAS

Banco Interamericano de Desarrollo. *Costa Rica-Panamá, Proyecto Manejo Integrado de Ecosistemas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola* (RS-X1017). Propuesta de Préstamo Operación No Reembolsable, Financiada con recursos del FMAM.

La cuenca de Murray-Darling: el viaje australiano hacia la sostenibilidad

AWADHESH PRASAD
Autoridad de la Cuenca de Murray-Darling, Canberra, Australia
awadhesh.prasad@mdba.gov.au

Resumen La Cuenca de Murray-Darling se extiende por cinco estados y es vital para la economía australiana. La misma enfrenta actualmente desafíos ambientales como salinidad y pérdida de su biodiversidad. Para hacer frente a estos retos se han implementado varias políticas: una estrategia de manejo de la salinidad, y la definición de límites a la extracción de agua. Sin embargo, el éxito de estas políticas, aunque digno de elogio, no ha sido suficiente para detener el declive ambiental de esta cuenca. Se necesita lograr un balance entre el valor de consumo y el valor ambiental de la Cuenca para lograr su sostenibilidad. En un intento pionero para alcanzar la sostenibilidad a esta escala, actualmente se está preparando un Plan de la Cuenca. Dicho plan, entre otras cosas, fijará nuevos límites sostenibles a la extracción tanto de aguas superficiales como subterráneas, y desarrollará planes de riego ambiental y de manejo de calidad de agua. La propuesta inicial del Plan de la Cuenca para reducir la extracción actual en un 22 a 29% obtuvo el rechazo de productores y de comunidades rurales afectadas. En una subsecuente investigación del parlamento federal, se encontró que esta reacción se debió más al enfoque utilizado para involucrar a la comunidad y a las autoridades locales que a la falta de apoyo a la reforma. La autoridad, en atención a la retroalimentación obtenida, realizó amplias consultas a las comunidades, grupos industriales y gobiernos estatales sobre los detalles del Plan. Luego de casi un semestre de consultas formales, el proyecto del plan está por ser adoptado por el ministro federal del agua. Al adoptarse se convertirá en ley y su implementación será obligatoria para todos los estados de la cuenca a través de sus planes de recursos hídricos. Este documento describe el fascinante viaje hacia la sostenibilidad de la Cuenca de Murray-Darling.

Palabras clave sostenibilidad; valores sociales; económicos y ambientales; plan de cuenca; compromiso con la comunidad

1 Introducción

La Cuenca de Murray-Darling (M-DB, por sus siglas en inglés) en Australia comprende 23 cuencas de los ríos Murray y Darling, y se extiende por un millón de km^2 a través de cinco estados: Nueva Gales del Sur (NSW, por sus siglas en inglés), Victoria (VIC), Queensland (QLD), Australia del Sur (SA, por sus siglas en inglés) y el Territorio de la Capital Australiana (ACT, por sus siglas en inglés). Más de 2,1 millones de personas viven en la M-DB, y otros 1,3 millones dependen de su agua. Aunque sólo representa el 14% del territorio australiano, la M-DB contiene el 65% de sus áreas irrigadas, provee el 50% del agua para uso agrícola, y representa el 40% del producto agrícola nacional; generando alrededor de $15 mil millones (MDBA, 2010).

El consumo de agua ha reducido el caudal promedio en la desembocadura del Rio Murray en un 41%, comparado con su caudal en condiciones naturales (MDBA, 2010). Actualmente, el consumo de agua es de quince mil millones de metros cúbicos (15.400 M m^3) de los que 13.l70 M m^3 corresponden a agua superficial y 1.700 M m^3 a agua subterránea (MDBA, 2010). El beneficio económico obtenido del consumo de agua se ha pagado a un costo ambiental significativo. Es así que la salud ecológica de 20 de las 23 cuencas de los ríos Murray y Darling es considerada como "pobre" o "muy pobre" (Davies, *et al*., 2008).

Por mucho tiempo ha sido obvio que es necesario lograr un balance entre el valor de consumo y el valor ambiental de la Cuenca para alcanzar su sostenibilidad. Lograr este balance es un desafío que involucra tomar decisiones difíciles que requieren de la aceptación de la comunidad. Una serie de reformas en la M-DB se han implementado en esta dirección. La última reforma consiste en un

Plan de Cuenca para fijar límites sostenibles de la extracción del agua para consumo. Sin embargo, el concepto de sostenibilidad no está fijo en el espacio-tiempo, más bien cambia con los valores de la comunidad, por lo que lograr la sostenibilidad no es llegar a un destino, es un viaje constante.

Gobierno en evolución

La gestión del agua en la M-DB está gobernada por una autoridad independiente, integrada por seis miembros, fundamentada bajo la *Ley Federal del Agua.* Hasta el 2008 fue gobernada por un Consejo ministerial inter-jurisdiccional, basado en consensos, y una comisión que representaba a los estados de la Cuenca y al Gobierno federal. Aún se mantiene un gobierno inter-jurisdiccional integrado por un Consejo ministerial y un Comité de Oficiales de la Cuenca (BOC, por sus siglas en inglés). Sin embargo, tanto el BOC como el Consejo Ministerial tienen funciones solamente de asesoramiento sobre el manejo sostenible de recursos hídricos. Sirven, además, como foros formales para colaborar con los gobiernos de los estados de la Cuenca. El gobierno de la M-DB y las instituciones asociadas han evolucionado a través de la historia. Esta evolución ha obedecido a las necesidades cambiantes del manejo del agua en la Cuenca. Blackmore (2002) ha identificado tres fases de la estructura institucional: (a) *la fase pionera:* de 1901 a 1920; (b) *la fase de entrega:* de 1921 a 1970; (c) *la fase de gestión:* de 1971 a 1990. A éstas se pueden sumar, la cuarta fase (d) *fase de limitación (pre-ambiental):* de 1991 a 2000; y la quinta fase (e) *la fase ambiental:* del 2000 al presente (Baird y McLeod, 2004). Estas fases reflejan las diferentes motivaciones, comportamientos y relaciones prevalentes de cada periodo y trazan, esencialmente, la historia de la gestión del agua y sus reformas en la M-DB.

Desarrollos y reformas históricas

La fase pionera se caracterizó por el deseo de desarrollar recursos acuáticos para beneficio humano (irrigación y navegación) sin una comprensión detallada de su impacto (Blackmore, 2002). En esta fase se establecieron las bases para el manejo cooperativo de la M-DB por medio del Plan de desarrollo del Río Murray de 1901. En consecuencia, en 1914-15, se firmó el *Acuerdo de Aguas del Río Murray* entre los tres estados del sur de la M-DB, NSW, VIC y SA, y el gobierno federal con el objetivo de compartir el agua del Río Murray. Este acuerdo estableció la Comisión del Río Murray (RMC, por sus siglas en inglés). La Comisión, basada en consenso, integrada por cuatro comisionados (uno de cada jurisdicción), especificó normas para la distribución del agua entre los tres estados y estableció arreglos para compartir los costos de la operación. La fórmula acordada para distribuir el agua se aplica todavía (con ajustes menores).

La fase de entrega se caracterizó por la construcción y gestión de infraestructura para el manejo de los recursos hídricos. En esta fase se construyeron diferentes tipos de presas y esclusas. El desarrollo y la estabilidad económica fueron los motores de esta fase; las demás consideraciones fueron relegadas a segundo plano (Blackmore, 2002). Al final de esta fase, la salinidad del río se convirtió en un punto de atención. Esto propició que se tomará conciencia sobre la importancia de la calidad del agua y su relación con un manejo amplio de los recursos naturales; lo que preparó el camino para la tercera fase.

La fase de gestión se caracterizó por ampliar los objetivos de gestión considerando también los resultados sociales, económicos y ambientales; lo que lleva a sopesar estos tres aspectos y la complejidad de su interrelación. El *Acuerdo de Aguas* fue modificado, de forma limitada, en 1982 y 1984, para ampliar las funciones de la RMC, incluyendo aspectos de calidad del agua y responsabilidades ambientales (MDBC, 2006b). Sin embargo, estas modificaciones resultaron insuficientes para hacer frente a los crecientes problemas ambientales interestatales, tales como el

incremento en la salinidad del agua y el suelo. El tomar conciencia de esta situación llevó a intensas negociaciones entre 1985 y 1987, las que resultaron en un *Acuerdo de la Cuenca de Murray-Darling* en 1987, el cual fuera modificado nuevamente en 1992. El *Acuerdo de la Cuenca* estableció una nueva estructura institucional, con un Consejo Ministerial como el órgano de mayor jerarquía, una nueva Comisión de la cuenca Murray-Darling (MDBC) como su brazo ejecutivo y un Comité Comunitario Asesor. El establecimiento de una "estrategia de salinidad y drenajes" para combatir la salinidad del Río Murray fue un gran logro de la implementación de esta nueva política. Con ello se estableció un sistema de débitos y créditos de salinidad, obligando a los estados de NSW, VIC y SA a responder por como sus acciones aumentaran o redujeran la salinidad del río. Éste fue uno de los primeros sistemas de compensación de contaminación. Los estados de QLD y ACT se unieron al *Acuerdo de la Cuenca* en 1996 y 1998 respectivamente. Esto transformó la autoridad del río en una autoridad de cuenca.

La fase de limitación (pre-ambiental) se caracterizó por la concienciación de que la extracción de agua para usos de consumo (principalmente para riego) había alcanzado el nivel máximo sostenible; más allá de este nivel el crecimiento no era sostenible. La extracción aumentó de dos mil millones de metros cúbicos (2.000 M m^3) al principio de los años 20 hasta más o menos 12 mil millones de metros cúbicos (12.000 M m^3) en los años 90. El Consejo Ministerial, en 1995, acordó fijar un Tope (límite basado en el nivel de desarrollo de 1993/1994) sobre la extracción de agua superficial en respuesta a un audito del uso del agua (MDBMC, 1995). Este audito confirmó que el creciente nivel de extracciones había causado el desmejoramiento de la salud del río. Los dos objetivos principales del Tope eran: mantener y, posiblemente, mejorar los regímenes de flujo existentes y lograr un consumo sostenible al desarrollar y gestionar los recursos hídricos para satisfacer necesidades ecológicas, comerciales y sociales (MDBMC, 1996). El Tope fue una decisión pionera que intento balancear las necesidades socio-económicas y ambientales. Una revisión de las operaciones del Tope (MDBMC, 2000) concluyó que, aunque el Tope no garantizaba un ecosistema de cuenca sostenible, sí era el primer paso para lograrlo. Sin el Tope, el riesgo de degradación ambiental habría aumentado significativamente.

La fase ambiental se caracterizó por el reconocimiento de que sólo los sistemas de ríos saludables pueden mantener las comunidades saludables y prósperas. Este reconocimiento se fue dando de manera gradual, basado en la experiencia acumulada y los hallazgos científicos patrocinados por la MDBC y otros. En respuesta a la creciente evidencia de que el Río Murray se había degradado y que esto amenazaba el bienestar de las comunidades (su agricultura, su industria, su riqueza natural y cultural), el Consejo Ministerial estableció en el año 2003 un programa de restauración del río llamado El Murray Viviente (TLM, por sus siglas en inglés). Entre otras cosas, se comprometió a reingresar anualmente 500 millones de metros cúbicos (500 M m^3) de agua al río para mejorar la salud de seis activos ecológicos importantes a lo largo del Murray. El ambiente es ahora considerado como un usuario legítimo del agua disponible en Australia. La Iniciativa Nacional del Agua (COAG, 2004) requirió un reconocimiento estatutario del agua ambiental para así: retornar los sistemas de sobre-asignación de recursos a niveles de uso sostenibles, mejorar la planificación del uso del agua, incluyendo la provisión de agua para resultados ambientales, y la expansión del comercio permanente de agua. Un acuerdo separado de los gobiernos de la M-DB (exceptuando el de QLD) en 2004, destinó $500 M en cinco años, comenzando en 2004-05, para atender la sobre-asignación de agua y lograr resultados ambientales específicos en la M-DB.

2 Imperativos para reformas adicionales

Aparte del Tope y del TLM, otras iniciativas importantes dirigidas a mejorar la salud ambiental y ecológica de la M-DB fueron implementadas. Estas fueron: el Comercio del Agua (permitiendo que el agua se mueva a usos de mayor valor), la Estrategia de Gestión de la Salinidad de la Cuenca

(extendiendo la estrategia mejorada de salinidad a toda la M-DB) y la Estrategia de Peces Nativos (para rehabilitar la población de peces nativos en descenso). El éxito de estas políticas, aunque significativo, fue insuficiente para detener el declive ambiental en la M-DB. Esto es evidente, si consideramos que 20 de 23 cuencas han sido calificadas con una salud ecológica "pobre" o "muy pobre" (Davies, *et al*., 2008). La mayor sequía registrada en la historia reciente agravó la situación: el caudal del río se secó hacia su desembocadura. Una parte de los Lagos Bajos también se secó, desencadenando la acidificación de los sedimentos del lecho del lago, y el estuario barrera (perteneciente a la Lista de Ramsar) desarrolló niveles alarmantes de híper salinidad.

La amplia cobertura de prensa que recibieron estos hechos logró despertar preocupación en la comunidad. El ritmo de reforma para atender la sobre asignación –causa subyacente de los problemas ambientales– había sido lento y la gobernabilidad de la M-DB, basada en consenso, era percibida como inefectiva. Todos estos factores motivaron la intervención del gobierno federal. El gobierno federal anunció, a inicios del 2007, la creación de un *Plan Nacional para la Seguridad del Agua* (NPWS, por sus siglas en inglés), al que se destinarían $10 mil millones, y la posterior promulgación de la *Ley del Agua*, a finales del año 2007.

Ley del Agua 2007

En vista de que la constitución australiana confiere autoridad sobre el agua a los gobiernos estatales, la implementación del NPWS requirió que los gobiernos estatales cedieran ese poder al gobierno federal. A pesar del acuerdo existente con otros estados de la M-DB, la inhabilidad del gobierno federal para negociar la cesión de poder por parte del estado de Victoria llevó al gobierno federal a promulgar la *Ley del Agua* a finales de 2007. Para esto, se vio en la necesidad de utilizar consideraciones de política internacional (acuerdos ambientales internacionales) como base para su argumentación. La *Ley,* entre otras cosas, estableció la *Autoridad independiente de la Cuenca de Murray-Darling* (MDBA, por sus siglas en inglés) a quien se le asignó la tarea de desarrollar un Plan de la Cuenca. Este plan fijaría nuevos límites sostenibles a la extracción de aguas superficiales y subterráneas. La Ley, además, designa un Titular del agua ambiental para adquirir y gestionar la misma. Se conservó la Comisión de la cuenca Murray-Darling (MDBC) tal como se estableciera años antes en el *Acuerdo de la Cuenca*.

Una vez el estado de Victoria accedió a ceder sus poderes, modificaciones subsiguientes de la *Ley del Agua* en 2008 resultaron en la MDBA. Las disposiciones del Plan de la Cuenca en su mayoría permanecieron intactas, y continuaron basándose en los poderes de la política exterior. Una investigación del Comité del Senado (2011) concluyó que la dependencia de la *Ley* en el poder de la política exterior limitó la habilidad de la MDBA para balancear las consideraciones sociales, económicas y ambientales al elaborar el Plan de la Cuenca –limitándola a darle más peso al ambiente– y esto causó incertidumbre legal. El Comité recomendó modificaciones a la *Ley* para ampliar su base de poder y permitir igual consideración de los valores económicos, sociales y ambientales. Sin embargo, esta recomendación no fue unánime. Varios argumentaban que no era necesario realizar modificaciones a la *Ley*, ya que, según ellos, la *Ley* tenía bases legales sólidas y ofrecía un amplio margen para balancear apropiadamente las consideraciones económicas, sociales y ambientales. El informe del Comité del Senado (2011) reflejó que los puntos de vista sobre la *Ley del Agua* estaban altamente polarizados. La comunidad agrícola y de riego solicitaba un balance explícito de las consideraciones económicas, sociales y ambientales. Mientras que los grupos ambientalistas sostenían que el balance estaba inclinado, indebidamente, a favor de los usuarios de consumo, y que debía restaurarse a favor del ambiente. No sorprende que bajo este ambiente tan polarizado, elaborar el Plan de la Cuenca resultara una tarea muy desafiante.

Plan de la Cuenca y Límites Sostenibles de Extracción

La *Ley del Agua* especifica el contenido obligatorio del Plan de la Cuenca, de los Planes de Recursos de Agua de los estados (WRP) y la manera en la que éstos planes deben elaborarse, incluyendo los requisitos de consulta con los estados y el público en general. La Autoridad preparó el Plan, que una vez adoptado por el Ministro federal (y aprobado por el Parlamento federal), se convierte en obligatorio para los estados de la cuenca. Estos deberán implementarlo por medio de Planes WRP acreditados por el Ministro. Para la elaboración el Plan de la Cuenca, la Autoridad y el Ministro debieron actuar con base en el mejor análisis científico y socioeconómico disponible.

De los tres elementos clave del Plan de la Cuenca –los límites sostenibles de extracción (SDL, por sus siglas en inglés), el plan ambiental de riego, y el plan de gestión de calidad del agua– los SDLs han sido los más complejos y polémicos. Para fijar los SDLs, la Autoridad debió primero determinar el nivel ambientalmente sostenible de la toma. Este es definido por la *Ley* como: el nivel que de ser excedido comprometería las funciones de ecosistema, los productos o la base productiva del recurso hídrico de cualquiera de los activos ambientales "clave". Sin embargo, la *Ley* deja a discreción determinar qué es "clave" en cada caso. Es decir, permite fijar los SDLs basados en consideraciones de optimización social, económica y ambiental.

Guía para el Plan propuesto de la Cuenca

Luego de casi 2 años de trabajo minucioso, la *Guía* de la Autoridad para el Plan propuesto, en octubre de 2010, recomendó una reducción en el consumo de tres a cuatro mil millones de metros cúbicos (3.000 a 4.000 M m^3). Es decir, una reducción de 22 a 29% para satisfacer necesidades ambientales. La *Guía* intentaba explicar a la comunidad la base científica y las políticas consideradas para proponer los SDLs. Luego de la publicación de la *Guía,* la Autoridad acudió directamente a reuniones comunitarias, donde se encontró con el rechazo airado de granjeros y comunidades rurales. En esos momentos el presidente de la Autoridad renunció y se nombró a un nuevo presidente. Se inició luego una investigación parlamentaria para evaluar los impactos socioeconómicos de la *Guía.*

La Investigación (Inquiry, 2011) encontró que la reacción hostil a la *Guía* se debió, no a la falta de apoyo comunitario a las reformas, sino a que la Autoridad no involucró a la comunidad y a los gobiernos de los estados de la Cuenca en la elaboración de las reformas. Al adoptar una política "de puertas cerradas" durante la preparación de la *Guía,* la Autoridad falló al no consultar. La *Guía* se presentó en una sesión informativa, en lugar de presentarse por medio un taller de consulta. Se consideró, además, que la *Guía* fallaba en explicar la necesidad de un Plan de la Cuenca y en articular una visión de cómo este se implementaría. Otras razones para la fuerte reacción de la comunidad incluyeron su sentimiento de una fatiga hacia las reformas, exacerbado por una década de sequía y la infravaloración del análisis socioeconómico (Inquiry, 2011). El nuevo presidente de la Autoridad, distanciándose de la *Guía*, declaró (Knowles, 2011) que esta "mostraba poco respeto por la gente" y por "su deseo de ser involucrada en la toma de decisiones y su esfuerzo histórico en administrar el agua para consumo, producción y el ambiente".

3 Nuevo enfoque

La Autoridad respondió cambiando su método al involucrar a las personas clave. El presidente ha estado llevando a cabo consultas extensas con la comunidad y los gobiernos de la Cuenca. Sus esfuerzos consultivos han sido bien recibidos por todos. Dejando de lado las propuestas de la *Guía*, la Autoridad ha indicado una recuperación de 2,8 mil millones de metros cúbicos (2.800 M m^3) de

agua para el ambiente. Este nuevo volumen fue basado en la metodología de "sitios como indicadores hidrológicos", a diferencia del enfoque de "flujo al final del sistema" que se utilizó en la *Guía*. La metodología de "sitios como indicadores" es considerada más completa, ya que determina las necesidades de agua ambiental de más de 100 "sitios indicadores" a lo largo de la Cuenca. Mientras que el enfoque simplista del "flujo al final del sistema" asumía que si se lograban estos objetivos, todo río arriba estaría bien (Knowles, 2011). El que se definiera un volumen menor de recuperación de agua con este método causó protestas por parte de grupos ambientalistas y recibió críticas de científicos, quienes afirman que la ciencia estaba siendo ignorada. La Autoridad sostiene que la metodología utilizada no es nueva y que no fue el resultado de las presiones de intereses poderosos. El detallado trabajo analítico que se llevó a cabo durante la preparación de la *Guía* ha sido revisado dos veces por expertos en la materia (Knowles, 2011). Sin embargo, en atención a las preocupaciones, la Autoridad ha consultado con la agencia nacional de ciencias (CSIRO, por sus siglas en inglés), para que revise el uso del método de los "sitios como indicadores hidrológicos" para determinar los SDLs. A la vez que defiende la metodología utilizada, el presidente de la Autoridad ha afirmado que el Plan de la Cuenca no se trata sólo de ciencia sino también de la gente (Knowles, 2011). El mensaje es que el balancear los valores ambientales, económicos y sociales del agua es tanto sobre la gente como sobre la ciencia. El agua fluye sobre paisajes en los que la gente vive y valora.

La Autoridad está negociando con todos los interesados: con los grupos ambientalistas, las autoridades federales, los gobiernos estatales y las comunidades, para elaborar un plan aceptable para todos. Dos resultados clave de estas negociaciones hasta ahora son: el compromiso del gobierno federal de "cerrar la brecha" y un plan de transición por el que se implementan los nuevos límites de extracción bajo el Plan de la Cuenca. Cerrar la brecha se traduce en que el gobierno federal comprará agua para cubrir la brecha entre los actuales límites de extracción y los SDLs. El plan de transición tendrá una duración de siete años, con una revisión a medio período (su finalización se espera para mediados del 2012). Su implementación no comenzará sino hasta el 2015, y para el 2019 se llevará a cabo una revisión de los SDLs. En esta revisión se considerarán varios asuntos, incluyendo el agua recuperada y la eficiencia ganada (MDBA, 2011).

La Autoridad considera que antes de proceder con la publicación del plan es necesario resolver asuntos relacionados con la implementación del mismo y la provisión de agua ambiental. Al necesitar más tiempo para completar estas negociaciones, el proyecto del Plan que se esperaba para mediados del 2011 se espera ahora para noviembre de 2011. Esta demora ha sido apreciada por algunos y criticada por otros. Dejando a un lado las críticas, la Autoridad considera (MDBA, 2011) que "el Plan es muy importante para terminarse en apuro. No se trata de marcar una casilla, sino de lograr que salga bien". La Autoridad también ha extendido el período de consultas para el proyecto de plan en 4 semanas; el periodo de consultas será ahora de 20 semanas. Todo el proceso del proyecto, desde la confección del borrador del Plan, su consulta pública, hasta su adopción por el ministro federal, debe completarse para mediados del 2012.

4 Desafíos futuros

Independientemente del contenido de la versión final del Plan de la Cuenca, su implementación supondrá un gran reto. Requerirá del desarrollo técnico de modelos, sistemas y procesos para establecer metas, indicadores de cumplimiento, seguimiento, evaluación y generación de reportes. Todos estos elementos requerirán no sólo recursos financieros adicionales, sino también más personal, tanto en la Autoridad como en los estados. A medida que la administración del agua de la M-DB evoluciona desde la vieja forma "basada en el estado" hacia un nuevo régimen regulatorio y de cumplimiento "a lo largo de la cuenca", se requerirá más cooperación que nunca entre los estados y

la Autoridad Federal para la ejecución exitosa del plan. El compartir la responsabilidad regulatoria del agua "antes del dominio exclusivo de los gobiernos estatales" entre el gobierno federal y los gobiernos estatales, y el suministro de recursos adicionales representa nuevos desafíos importantes.

5 Conclusiones

La gobernabilidad de la M-DB y la gestión de sus recursos hídricos han evolucionado a la par de las motivaciones de la gestión del agua en las diferentes fases de sus cien años de historia. Actualmente, la Autoridad federal está desarrollando un Plan de la Cuenca que, entre otras cosas, fijará límites sostenibles sobre la extracción de agua superficial y subterránea. Aunque bastante radical, este Plan de la Cuenca es un paso importante en el viaje hacia la sostenibilidad de la Cuenca de Murray-Darling. El desarrollo de este plan, que no ha sido fácil, aspira nada menos que a balancear los valores sociales, económicos y ambientales. Las negociaciones continúan para lograr un resultado aceptable para todos los interesados. Aunque el Plan está sujeto a la aprobación del parlamento, la versión que se maneja en la actualidad, y que se espera sea adoptada por el Ministerio (a mediados del 2012), tiene altas probabilidades de lograr el balance correcto entre los resultados sociales, económicos y ambientales. La implementación del Plan de la Cuenca pondrá a prueba el liderazgo del Gobierno federal, ya que se necesitará de gran cooperación entre los gobiernos estatales para una implementación exitosa.

REFERENCIAS

Baird, J. y McLeod, A J. (2004) Governance Arrangements for Environmental Management in the River Murray, Australia. *Water Law* (15) 3/4, 142-145.

Blackmore, D. (2002) Protecting the Future. In: Connell, D (ed.) *Unchartered Waters*, 1-4, MDBC, 2002 COAG Communiqué.

Davies PE, Harris, JH, Hillman, TJ, y Walker KF. (2008) *The ecological health of rivers in the Murray-Darling Basin 2004-2007, Report of the Independent sustainable Rivers Audit Group,* MDBA.

Inquiry - House of Representatives Standing Committee on Regional Australia. (2011) *Of drought and flooding rains', Inquiry into the impact of the Guide to the Murray-Darling Basin Plan*.

Knowles C. (2011) People at the Heart of the Basin Plan, *Sydney Morning Herald*, 27 julio 2011.

(MDBA) Murray-Darling Basin Authority. (2010) *Guide to the Proposed Basin Plan*, MDBA.

(MDBA) Murray-Darling Basin Authority. (2011) *Chair's statement, Progress on the Proposed Basin Plan*, MDBA.

(MDBC) Murray-Darling Basin Commission. (2006a) *Surface Water Resources Fact Sheet*, MDBC.

(MDBC) Murray-Darling Basin Commission. (2006b) *A Brief History of the Murray-Darling Basin Agreement*, MDBC.

(MDBMC) Murray-Darling Basin Ministerial Council. (1995) *An Audit of Water Use in the Murray-Darling Basin,* MDBMC, Canberra.

(MDBMC) Murray-Darling Basin Ministerial Council. (1996) *Setting the Cap*, MDBMC, Canberra.

(MDBMC) Murray-Darling Basin Ministerial Council. (2000) *Review of the Operation of the Cap*, MDBMC, Canberra.

Senate Legal and Constitutional Affairs References Committee. (2011) *A Balancing Act: Provisions of the Water Act 2007*, Commonwealth of Australia, Canberra.

Gobernabilidad y ética del agua

DAVID GROENFELDT
Water-Culture Institute, Santa Fe, Nuevo México, EEUU
dgroenfeldt@waterculture.org

Resumen Un enfoque basado en valores ofrece una manera de entender y mejorar las políticas y prácticas de gestión del agua. El enfoque aplica conceptos de la ética ambiental y de estudios culturales para centrarse en los valores, a menudo ocultos, que motivan el comportamiento hacia el agua. El ejemplo del río Santa Fe (ubicado en Nuevo México, EE.UU.), ilustra cómo los valores utilitarios sobre la naturaleza, profundamente arraigados, se reflejan en políticas que son insostenibles desde el punto de vista científico, más son apoyados por un lamentablemente eficaz sistema de gobierno. El análisis del caso Santa Fe sugiere la necesidad de cambiar los valores del agua a través de acuerdos de gobernabilidad que incluyan una amplia gama de partes interesadas, incluyendo voceros del medio ambiente. Al reconocer los valores y la ética como una dimensión explícita de la gestión del agua, las instituciones pueden funcionar de manera más flexible y usar el agua de manera más sostenible.

Palabras clave ética; valores; medio ambiente; gobernabilidad; Río Santa Fe

1 Introducción

¿Para qué la gobernabilidad del agua? ¿Cuáles son nuestros objetivos y, en general, cuáles son nuestras aspiraciones? ¿Qué estamos tratando de lograr? Si no nos hacemos estas preguntas es fácil terminar con ríos que, aunque bien gobernados, están en deterioro ecológico (Pahl-Wostl *et al*., 2008). Tal como Simon Sinek argumenta en su reciente libro, *Empieza con el "por qué"*, tenemos que estar claros, no sólo sobre los objetivos de nuestra gestión, sino a un nivel más profundo, sobre los valores que motivan estos objetivos (Sinek, 2009).

Las políticas del agua y las prácticas de gestión inevitablemente reflejan valores y suposiciones éticas. Aunque rara vez expresados de manera explícita, los valores subyacentes se hacen visibles cuando los conflictos sobre el agua pasan a la arena política. La controversia en torno a las grandes represas, por ejemplo, ha planteado una serie de valores acerca de cómo los ríos se deben manejar, y sobre las prioridades relativas que debe concederse a consideraciones ambientales y a los derechos humanos culturales, tanto individuales como colectivos (ver la edición especial de *Water Alternatives*). La polémica sobre las represas demuestra la potente gama de valores implicados en las decisiones de gestión de los ríos, y la interacción entre el nivel global de principios generales, nivel en el cual opera la Comisión Mundial de Represas (WCD, 2000) y el nivel local, en donde los valores específicos de las comunidades locales y culturas deben ser evaluados y negociados.

Para efectos de esta discusión, la ética y los valores sobre el uso del agua y gestión de los ríos no son ni buenos ni malos, ni correctos ni incorrectos; simplemente existen como parte del contexto de gobernabilidad del agua. Los valores sobre el agua, sin embargo, también son problemáticos por dos razones: (1) los valores son invisibles e ignorados con facilidad hasta que toman una expresión visible (por ejemplo, en los planes para las represas o en las manifestaciones contra ellas), y porque (2) los especialistas que estudian valores (antropólogos, filósofos, psicólogos) tienen poca participación en las discusiones de la gobernabilidad del agua.[1] El mensaje de esta publicación es que los valores que sustentan la gobernabilidad del agua merecen un estudio sistemático y exhaustivo, en el marco del proceso de reforma de la gobernabilidad del agua hacia la sostenibilidad.

1 Una notable excepción a esta norma general fue la presencia en la Comisión Mundial de Represas del antropólogo Thayer Scudder, quien jugó un rol clave en ella.

2 El caso del Río Santa Fe

Un ejemplo de cómo la ética y los valores del agua motivan la gobernabilidad del agua se puede ver en el caso del Río Santa Fe, en Nuevo México[2]. Este río está totalmente bloqueado por embalses aguas arriba construidos para el abastecimiento urbano de agua, y como resultado está totalmente deshidratado aguas abajo de las presas. Debido a esta estrategia de gestión de sacrificar la ecología del río por el suministro de agua de la población urbana, el río de Santa Fe fue declarado "El río en mayor peligro de extinción de los Estados Unidos " en el año 2007 por el grupo ambientalista nacional, American Rivers.[3] ¿Quién mató al Río Santa Fe? Yo sugeriría que el río no fue muerto por mala gobernabilidad, sino por los valores culturales locales que ven el agua del río como una mercancía que puede comprarse y venderse, y no reconocen la responsabilidad ética sobre la salud del ecosistema natural del río.

La gobernabilidad del río Santa Fe refleja una visión del mundo (apoyada también por la ley estatal de agua) de que el agua del río pertenece a sus dueños humanos. En Nuevo México, los derechos de agua son propiedad privada, y la deshidratación de los ríos es legal si usted es dueño del agua.[4] El agua en el río Santa Fe es propiedad, casi en su totalidad, de la empresa municipal del agua. No se permite que agua escape de los depósitos de abastecimiento a menos que estos estén casi llenos, lo que por el clima árido de la región ocurre durante unos pocos meses al año. Durante el resto del año, el Río Santa Fe es un foso seco que atraviesa el centro de la ciudad histórica fundada a sus orillas.

¿Es esto un problema de gobernabilidad? No del todo. La gobernabilidad del Río Santa Fe es democrática y transparente. Los concejales electos de la ciudad determinan si deben liberar el agua de la presa. Los ciudadanos locales se han resignado a la idea de que, puesto que viven en un clima seco, no deben esperar un río húmedo. Los grupos ambientalistas e inclusive el personal municipal han desafiado esta complacencia y están promoviendo una re-regulación del río, que permita un mínimo caudal ambiental. Hay algo de esperanza para la existencia de un futuro río, pero no se puede negar el pasado reciente. El río Santa Fe ha estado seco a pesar de un sistema de gobernabilidad razonablemente eficaz.

Si la buena gobernabilidad no es el camino a un río sano, ¿qué lo es? La respuesta, en mi opinión, es "la ética". Una nueva ética de vivir en armonía con la naturaleza puede ser la motivación para recuperar el río. El desarrollo urbano sostenible en Santa Fe tiene que dar prioridad al río, y se debe construir alrededor del entorno natural. Mejorar la estructura de gobierno del río Santa Fe podría ayudar. Un consejo formado por actores interesados sería un control eficaz para asegurar que la diversidad de opiniones se refleje en las decisiones de gestión. Pero el jugar con la estructura de gobierno también puede ser una distracción en cuanto a abordar directamente los valores subyacentes (ética) que motivan el comportamiento.

3 Trabajando con valores

Los valores ocultos que impulsan las políticas del agua y los comportamientos deben ser descubiertos y expuestos a un debate público, donde puedan ser informados por la ciencia, la religión, la política y la economía. Este proceso de evaluación de valores es parte de lo que la buena gobernabilidad debe incluir como práctica habitual, pero la atención explícita a la ética ha estado ausente en gran

2 Para más detalles sobre este caso, ver Groenfeldt, 2010.

3 www.americanrivers.org

4 La mayoría de los estados del oeste, salvo Nuevo México, han enmendado sus leyes de agua para la protección de los caudales ambientes, y se están haciendo esfuerzos para fortalecer estas disposiciones. Ver la página web del Instream Flow Council para más detalles:www.instreamflowcouncil.org.

medida en los debates sobre la gobernabilidad del agua. Afortunadamente, esto está cambiando (ver Brown y Schmidt, 2010 y Llamas *et al*., 2009). El estudio de la ética del agua poco a poco está surgiendo como un tema serio. "Conseguir la ética correcta" es tan importante para la gestión del agua eficaz como "conseguir los precios correctos". A continuación, detallo un proceso de cuatro pasos para trabajar con la ética del agua:

Paso # *1: Identificar los valores existentes*. La identificación de los valores operativos subyacentes a los comportamientos particulares es el primer paso en el proceso de "conseguir la ética correcta". Merchant (1997) señala que, desde la perspectiva de gestión de recursos, la ética del siglo XX era principalmente utilitaria, y tomó los intereses de la sociedad (en lugar de los individuales) como impulso para la legitimidad normativa. Esta visión utilitarista se articuló inicialmente en los Estados Unidos y se extendió progresivamente a nivel internacional (Feldman, 1995, 2007). Incluso hoy en día, las definiciones de la GIRH comúnmente promueven una ética utilitaria, donde el objetivo es "maximizar... el bienestar económico y social" sin comprometer el medio ambiente (Asociación Mundial para el Agua, 2000: 22).

Paso # 2: Analizar los valores. Un enfoque en los valores nos permite recuperar los valores latentes en tradiciones específicas que han sido opacados por otros sistemas de valores. Por ejemplo, en el oeste de los Estados Unidos, la doctrina del "uso beneficioso" fue diseñada inicialmente para asegurar prácticas correctas de distribución, al garantizar que el agua fuera desviada para usos legítimos y que los derechos no pudiesen ser comprados por inversionistas de capital de riesgo (Schorr, 2005). Este énfasis materialista a menudo interfiere con las consideraciones de la función ecológica que no tienen un valor de mercado definido. Las inconsistencias entre los valores incorporados en las leyes de agua y los valores de la sociedad en su totalidad, o de determinados grupos de interés (los ecologistas, por ejemplo) o de la ciencia (ecología, economía o hidrología, por ejemplo) son indicadores de que las leyes deben ser re-examinadas o, por el contrario, que los valores en conflicto entre los diferentes grupos sociales tienen que ser debatidos y negociados.

Paso # 3: Evaluar las alternativas. Los valores pueden ser evaluados a través del análisis comparativo o por medio de casos históricos. Los historiadores ambientales documentan la evolución de los valores culturales subyacentes a la gestión de recursos y pueden ofrecer información valiosa. Por ejemplo, Blackbourn (2006) traza la evolución de los estándares de ingeniería aplicados al río Rin, a partir de estrategias de "comando y control" durante la primera mitad del siglo XX, a estrategias más recientes basadas en ecosistemas. Las suposiciones culturales (valores) sobre la interacción de las personas y la naturaleza han cambiado. Los principios ecológicos ofrecen un nuevo paradigma de relación con la naturaleza, que comparte muchas características con las tradiciones animistas indígenas que ven a la naturaleza como sagrada. En cierto sentido, la ecología proporciona un fundamento científico para los valores culturales indígenas sobre los ríos.

Paso # 4: Proponer nuevas políticas. Las alternativas a las políticas pueden ser debatidas entre las partes interesadas teniendo como base los valores y resultados deseados por la comunidad. Los asuntos de gobernabilidad y mecanismos de participación se vuelven críticos para llegar a soluciones que estén avaladas por un gran número de partes interesadas. Mediante la aclaración de los valores que la comunidad (o que el país) desea promover, se pueden formular políticas de agua que reflejen las cualidades deseadas.

4 La aplicación de la ética en la gobernabilidad del agua

Una de las razones por las que los valores del agua y la ética no son discutidos frecuentemente es que no tenemos un conjunto básico de términos, y los pocos términos que tenemos son utilizados de manera confusa y contradictoria. Tomemos por ejemplo la palabra *ética*: ¿Se refiere a un conjunto de

valores que nos gustaría ver en un mundo sostenible (*ética prescriptiva*), o se refiere al conjunto de los valores existentes, que son la causa de nuestro actual mundo insostenible (*ética descriptiva*)?

Otra causa de confusión es la determinación del objeto de preocupación ética. ¿Estamos interesados en la gestión ética de los cuerpos de agua (ríos, lagos, acuíferos, humedales), o estamos hablando sobre el uso ético del agua que se extrae de estos cuerpos para, por ejemplo, la agricultura, los abastecimientos urbanos/municipales, o la industria? ¿Estamos preocupados por los derechos humanos individuales (por ejemplo, el derecho humano al agua y al saneamiento), o por los derechos de la comunidad, o derechos culturales? La diversidad de valores y principios éticos añade una dimensión de relatividad al estudio de la ética. Una represa hidroeléctrica que genera beneficios para los usuarios aguas abajo podría parecer inética a la comunidad indígena cuyas tierras ancestrales se inundarán, y, de hecho, el proyecto incluso podría ser considerado ilegal bajo las nuevas interpretaciones del derecho internacional.

¿Cómo podemos avanzar desde el reconocimiento de las discrepancias en los valores hacia un debate político constructivo que pueda armonizar estas discrepancias? En primer lugar, tenemos que reconocer la importancia de los valores que nos interesan, y cómo entran en conflicto con los valores incorporados en una ley o política. "A menos que tengamos un conocimiento suficiente, tanto de nuestros propios valores y de cómo una ley, decisión o acción afecta algo que nos importe, no vamos a responder. El proceso de obtener una mayor claridad, de discutir los valores en juego, podría promover un pensamiento más razonado. La deliberación puede promover el desarrollo ético" (Flournoy, 2003:64).

Aunque este proceso puede parecer tautológico, no es la única herramienta en el arsenal para reformar los valores culturales sobre el agua y para promover una ética del agua más sostenible. Otros enfoques incluyen: (1) la aplicación de la ciencia, tanto directamente (trayendo a expertos) e indirectamente a través de la educación, (2) nuevos modelos y marcos conceptuales, como la Teoría Integral (O'Brien y Hochachka, 2010), (3) el uso de las artes para comunicar a través de los canales de estética y de emoción (Irland, 2007), (4) acción política, ya sea agresiva (por ejemplo, Greenpeace) o diplomática (por ejemplo, WWF), y (5) mecanismos de gobernabilidad que incorporan a los actores ambientales y culturales.

Dentro de estos enfoques, el último, (mecanismos de gobernabilidad), puede ser la mayor promesa a corto plazo en la reforma de la ética no sostenible del agua y sus políticas resultantes. Gracias al desarrollo de sofisticados métodos institucionales para la gestión del agua, la gobernabilidad es una prioridad reconocida por los responsables políticos y los gestores del agua. Los principios de participación y cooperación de los actores interesados se entienden bien (y casi siempre son seguidos), y el lema "hacer del agua asunto de todos" ha sido objeto de amplia difusión. Un progreso substancial puede lograrse simplemente mediante la aplicación de estos conceptos de manera más vigorosa, para que un conjunto más amplio de partes interesadas se incluya en las decisiones sobre el agua.

En Nuevo México, las políticas del agua han sido desarrolladas por abogados, empresarios e ingenieros. Aunque los representantes electos tienen la autoridad final, en la práctica, ellos siguen las recomendaciones de los técnicos gestores del agua. En los casos en que a los interesados se les da voz oficial, como en un proyecto de reconstrucción de diques a lo largo del Río Grande en el centro de Nuevo México, el papel de "parte interesada" se define en función de las políticas de agua existentes, con la interpretación de que sólo un titular de los derechos de agua tiene "interés" en lo que ocurrirá con el río. Este tipo de acuerdo de gobernabilidad está en oposición a las organizaciones del medio ambiente (a menos que ellas resulten ser dueñas del agua) y a la gran mayoría de los residentes locales.

Una interpretación más amplia de "hacer del agua asunto de todos" sugiere la ampliación del concepto de los interesados más allá de los accionistas económicos, para incluir a los pueblos

indígenas, los voceros del medio ambiente, y las perspectivas disciplinarias de las artes, las humanidades y las ciencias, así como de la ingeniería y el derecho. Para la plena representación de los valores, las personas y grupos que sostienen estos valores deben ser incluidos como partes interesadas.

Una reforma de la gobernabilidad para ampliar la definición de las partes interesadas es tan sólo parte del rompecabezas de la ética, pero puede ser la piedra angular que permita que los enfoques complementarios (ciencia, modelos, arte y política) tengan efecto. Los valores evolucionan; podemos ver esto en la historia del desarrollo del agua, desde la cruda conquista de la naturaleza hasta una coexistencia más pacífica. Pero los valores tienen que cambiar más rápido que nunca para mantenerse al día con los cambios climáticos que nos rodean.

5 Conclusiones

Los valores están en todas partes, y si hacemos el esfuerzo de encontrarlos, podemos empezar a utilizarlos como herramientas para la elaboración de políticas sostenibles del agua (y otras). La crisis del cambio climático añade urgencia a la tarea de "seguir los valores correctos", pero esta crisis también proporciona lecciones basadas en la experiencia sobre la diferencia que los valores pueden hacer.

El potencial para el cambio de comportamiento a través de cambios en los valores y la ética supone que los valores se pueden cambiar, y que tenemos algunas ideas razonables de cómo proceder. He sugerido que el primer y más importante paso es reconocer la existencia de valores ocultos dentro de las políticas y prácticas del agua, y que sólo entonces podremos aplicar enfoques creativos para la transformación de los valores a lo largo de las líneas que consideramos deseables. El resultado preciso es, en mi opinión, menos importante que el proceso de identificar, analizar y debatir valores alternativos y sus comportamientos implícitos. Es de suma importancia mantener un discurso en torno a valores y no solo en torno a comportamientos, pues los comportamientos deben ser considerados responsables por los valores que expresan.

Cuando los valores se tratan y debaten a través de un proceso abierto y democrático, los comportamientos resultantes son más propensos a ser sostenibles. El peligro no viene de la democracia (en el sentido ideal), sino de instituciones osificadas que pierden su capacidad de adaptación para responder a nuevas situaciones, y luego niegan la dimensión de valores de sus propias políticas. Los valores como guía moral de conducta práctica (ética), sirven para lubricar los engranajes institucionales. Necesitamos instituciones, pero también necesitamos valores. La buena noticia es que ambos están siempre presentes; sólo tenemos que mirar.

Epílogo: una red de ética del agua

Recientemente (agosto 2011), una red de ética del agua ha sido establecida por el Water-Culture Institute (www.waterculure.org), en colaboración con otras organizaciones. El propósito de la red es llevar el estudio de la ética del agua al discurso cotidiano de las políticas de agua y a las decisiones de gestión, de modo que las decisiones sobre el uso del agua y gestión de los ecosistemas hídricos sean concientizadas por los valores. La red facilita el intercambio de experiencias, ideas e información sobre eventos y actividades. Cualquier profesional involucrado en el agua y/o la ética está invitado a unirse a la red. Para más información, y para suscribirse al boletín mensual de noticias (gratuito), visite: //waterethicsnetwork.blogspot.com

REFERENCIAS

Blackbourn, D. (2006) *The conquest of nature: Water, landscape, and the making of modern Germany*. New York: Norton.

Brown, P. and Schmidt, J. (eds.), 2010. *Water ethics: Fundamental readings for students and professionals*. Washington, DC: Island Press.

Feldman, D. (1995) *Water resources management: in search of an environmental ethic*. Baltimore: John Hopkins University Press.

Feldman, D. (2007) *Water policy for sustainable development*. Baltimore: John Hopkins University Press.

Flournoy, A. (2003) Building an environmental ethic from the ground up. *Environmental Law and Policy Journal* 56:53-80.

Global Water Partnership. (2000) *Integrated Water Resources Management. TAC Background Paper no. 4*. Estocolmo: Global Water Partnership.

Groenfeldt, D. (2010) The next nexus? Environmental ethics, water management, and climate change. *Water Alternatives* 3(3): 575-586.

Irland, B. (2007) *Water library*. Albuquerque: University of New Mexico Press.

Llamas, R., L. Martinez-Cortina, & A. Mukherji. (Eds.), 2009. *Water ethics: Marcelino Botin water forum 2007*. Londres: CRC Press.

Merchant, C. (1997) Fish first! The changing ethics of ecosystem management. *Human Ecology Review* 4: 25-30.

O'Brien, K. and Hochachka, G., 2010. Integral adaptation to climate change. *Journal of Integral Theory and Practice*, 5(1), pp. 89–102.

Pahl-Wostl, C., Gupta, J. and Petry, D. (2008) Governance and the global water system: a theoretical exploration. *Global Governance* 14: 419-435

Sinek, Simon. (2009) *Start with Why: How Great Leaders Inspire Everyone to Take Action*. New York: Portfolio (Penguin).

WCD. (2000) *Dams and Development: A new framework for decision-making*. Londres: Earthscan.

Estructuras de gobernanza para la efectiva gestión integrada de cuencas – lecciones y experiencias de la Cuenca HELP Tweed en Reino Unido

CHRIS J. SPRAY Y LUKE COMINS
Centro UNESCO PHI-HELP sobre Leyes, Políticas y Ciencias del Agua, Universidad de Dundee, Dundee, Escocia
c.j.spray@dundee.ac.uk

Resumen Se informa sobre el desarrollo de la gestión participativa a la escala de cuenca para la Cuenca HELP en Tweed. Se presenta el contraste de la gestión histórica del agua en la cuenca con la gestión actual, y se investiga el desarrollo y el papel actual de la organización de actores clave, el Foro de Tweed, en el contexto de fortalecimiento de la gobernanza para la sostenibilidad.

Palabras clave gobernanza; GIRH; gestión participativa; grupos de interés; Tweed

1 Introducción

En la Convención de Bonn sobre las Aguas Dulces Internacionales de 2001, el informe sobre los principales problemas identificó la "gobernabilidad, gestión integrada y nuevas alianzas" entre las áreas más importantes para la acción. Diez años después, sugerimos que se han producido varios acontecimientos importantes en el contexto más amplio de gobernabilidad, que hacen esto aún más relevante en la actualidad. Éstos son la necesidad de adoptar un enfoque de cuencas que trascienda las leyes y políticas nacionales; la necesidad de reconocer las cuencas como fuentes, vías y receptores; el reconocimiento de los múltiples beneficios que se derivan de las funciones y servicios del ecosistema; la necesidad de acceder a las diferentes disciplinas científicas y las formas de conocimiento; y el aumento de la participación efectiva y vinculación de actores clave. El Programa Hidrológico Internacional (PHI) y la iniciativa Hidrología para el Ambiente, la Vida y las Políticas (HELP, por sus siglas en inglés) de la UNESCO reconocen que para hacer frente a muchos de estos temas (Bonell, 2004), la integración y participación de los interesados son la clave. Se convierten en especialmente importantes cuando la sociedad se enfrenta a lo que ahora se denomina problemas "viles" (*wicked*), cuya solución requiere un enfoque de sistemas. Esto debe abarcar la multiplicidad de perspectivas y acciones a diferentes niveles para lograr un cambio. Las políticas y la ciencia por sí solos no son suficientes; la aplicación requiere la aceptación, por la sociedad, de la validez de los objetivos, métodos y la utilidad de los resultados producto de los objetivos de la política (Ison, *et al*., 2007).

2 El desarrollo legislativo de la gestión de cuencas hidrográficas en Tweed

La cuenca del Tweed cubre unos 5.000 kilómetros cuadrados de tierras principalmente agrícolas. El propio río fluye de oeste a este 160 km, antes de descargar en el Mar del Norte. La población de la región de 130.000 habitantes se concentra principalmente en pueblos del valle, y el río domina el paisaje, la cultura y la economía. Solo la pesca del salmón tiene un valor de £18 millones / año para las las Áreas Fronterizas y genera alrededor de 500 puestos de trabajo. Todo el río está considerado como una Zona Especial de Conservación según la Directiva Hábitats de la UE, y la cuenca traslapa la frontera con Escocia. El estuario y parte baja de la cuenca (16%) están en Inglaterra, de modo que hay dos administraciones separadas para la cuenca hidrográfica, aunque ambas están bajo el control legislativo superior de la Directiva Marco del Agua (DMA) de la UE.

El manejo de cuencas hidrográficas en el Reino Unido se ha caracterizado históricamente por estructuras, instituciones, políticas y mecanismos de resultados separados. Cada uno abordó un área diferente de la gestión –la pesca, la calidad del agua, inundaciones, etc. (Newson, 2009). Este enfoque fue impulsado por las necesidades del gobierno central y reflejaban diferentes requisitos legales. Era esencialmente un proceso "de arriba-hacia abajo" con poco compromiso con las comunidades interesadas. Las mismas cuencas de los ríos no fueron vistas como unidades de gran relevancia para la gestión. A menudo se les ubicó entre los límites superpuestos de administración y planificación, que operan a diferentes escalas. Históricamente, la gestión del Tweed también fue "desde arriba", y se centró en la pesca del salmón. Esto llevó a una normativa temprana para proteger los hábitats utilizados por el salmón, y a la formación en 1807 de la Comisión del Río Tweed (RTC). La RTC tiene poderes transfronterizos sobre toda la cuenca para regular las actividades de protección del río (especialmente en las zonas de desove). El objetivo principal de la RTC es la pesca del salmón y, aunque su mandato no sólo abarca el salmón, se puso menos énfasis en otras especies de fauna o flora, lo que refleja los intereses dominantes de los propietarios de la pesca principal.

Los esfuerzos para abordar otras cuestiones de la gestión del agua también se desarrollaron en respuesta a los mismos intereses individuales, con sus propias instituciones individuales, actores clave, y políticas. Spray, *et al*., (2010), por ejemplo, describen el desarrollo de la gestión de riesgos de inundación. Ponen de relieve el carácter aislado de los intentos anteriores para proteger aguas abajo a las zonas urbanas de las inundaciones, mientras que aguas arriba los cambios en los ríos, drenaje y uso de la tierra contribuyeron a acelerar el agua hacia los valles de estos mismos asentamientos. La situación que abarca las mejoras de calidad del agua en Tweed en general ha seguido un camino similar. La regulación temprana del Consejo para la Purificación del Río Tweed, desde 1996 la Scottish Environment Protection Agency (SEPA), fue dirigida a controlar las fuentes puntuales individuales de contaminación, y se centró en la calidad química, y no la ecología del río. Sólo con el advenimiento de la DMA hubo un cambio hacia un enfoque de cuencas, con énfasis en abordar las fuentes de contaminación, y mejorar el compromiso y participación de los terratenientes. La DMA también vio en Escocia los primeros pasos para controlar los recursos hídricos, el riego y la extracción, junto con la regulación de las descargas de los embalses y zonas de protección para el agua potable. La conservación de la naturaleza en Tweed estuvo dominada por la designación, en 1976, de todo el río como un Sitio de Interés Científico Especial, y más tarde como un sitio Natura Europea 2000. El Scottish Natural Heritage (SNH) y sus agencias predecesoras desempeñaron un papel clave en la regulación y la promoción de las especies y la gestión del hábitat. Sin embargo, históricamente se ha centrado en la conservación de determinadas especies y hábitats, en lugar de un enfoque integrado de los ecosistemas de humedales a nivel de captación y funcionamiento de los ecosistemas de toda la cuenca (Spray, 2010). En esto, como en las otras áreas de gestión de cuencas hidrográficas, las comunidades locales rara vez fueron consultadas, y las prioridades de acción siguieron en gran medida los protocolos nacionales e internacionales.

3 La integración de las cuencas fluviales y la participación de actores clave

La introducción de la DMA dio un gran impulso a la gestión integrada de las cuencas en el Reino Unido. Además de exigir un enfoque de toda la cuenca, la planificación de las cuencas hidrográficas (PCH) exigió un nuevo enfoque de la gobernanza, incluyendo un trabajo más estrecho con los organismos oficiales y voluntarios. Aun más, requirió la integración entre las funciones y entre zonas geográficas, con el fin de ofrecer medidas específicas para mejorar el estado ecológico de las masas de agua en toda la cuenca (Hendry, 2008). Por último, requirió la participación de los actores interesados en el proceso, incluyendo la creación de grupos asesores en el área (AAG, por sus siglas

en inglés) y nacionales. La nueva Ley Gestión de Riesgos por Inundación (Escocia) (2009) igualmente reconoce que la gestión tiene que adoptar un enfoque integrado a la hidrología de la cuenca. Un cambio fundamental se produjo a partir de un enfoque en la construcción de barreras estructurales para proteger áreas urbanas aguas abajo, a una basada en la gestión del riesgo de inundación a través de intervenciones en toda la cuenca. Este enfoque se diferencia entre las zonas de origen (donde las inundaciones se generan) y las vías (cauces de los ríos y las llanuras de inundación), junto con la defensa de las ubicaciones de los receptores (los núcleos urbanos). Reconoce el potencial de reducción de riesgo de inundación a las zonas urbanas mediante la promoción de cambios en las prácticas de manejo de la tierra a lo largo de toda la cuenca (Spray, *et al*., 2010).

Con un marco legal tan bien desarrollado, se puede suponer que habría los medios asociados para la participación efectiva de la comunidad local, al menos con base en un solo tema o sitio. Hasta cierto punto esto es cierto ahora, pero la naturaleza de esta participación es todavía en gran parte "de arriba hacia abajo", y controlada por las instituciones responsables del cumplimiento de las respectivas políticas individuales. En muchos casos, los foros creados por los grupos de interés tienen términos de referencia muy estrechos. La participación a menudo es por invitación a los grupos de representación establecidos, y las agendas son establecidas por instituciones de control –con el fin de cumplir sus objetivos y su programación (Blackstock y Richards, 2007).

4 El desarrollo de Tweed Forum

El desarrollo de Tweed Forum, una organización no gubernamental (ONG), representa un modelo alternativo de gobierno muy diferente y de gran éxito. Este tiene su origen en preocupaciones de la comunidad local, mucho antes de que existieran la PCH y los AAG, y fue desarrollado "de abajo hacia arriba". El éxito de Tweed Forum y su eficacia en la participación de la comunidad han sido tal que de forma peculiar se le pidió convertirse en el AAG de Tweed. En el resto del Reino Unido, las agencias responsables crean nuevas organizaciones de cuenca para cada cuenca hidrográfica. El Tweed Forum inició en 1991 como respuesta a un solo evento –una excavadora en el cauce del río extrayendo la grava. En este sentido, se asemeja a los orígenes de muchas organizaciones no gubernamentales, en respuesta a un problema local inmediato. Su posterior desarrollo se produjo en tres fases (Collins, 2004), y aunque las fases se traslapan, es importante reconocer los catalizadores diferentes que llevaron al cambio. Mediante la identificación de estos, uno puede entender las barreras y las oportunidades que otras organizaciones de cuenca enfrentan en términos de desarrollo y cambios a sus operaciones y gobernabilidad potencial.

Fase 1 – el foro inicial (1991-1999): Como se ha señalado, el *catalizador* para la formación del foro fue un evento único que llevó a las tres organizaciones ambientales legales a nivel local (Nature Conservancy Council, Tweed River Purification Board y River Tweed Commission) a estimular la unión de otras partes interesadas para juntarse en una asociación libre. Comenzó esencialmente como una "*tertulia*", con la participación local de grupos transfronterizos ambientales, normativos y voluntarios. La *membrecía* provino principalmente de órganos establecidos en Tweed, y era flexible y voluntaria. El *objetivo* era coordinar las actividades; aclarar los reglamentos y responsabilidades; y mejorar el intercambio de conocimientos en torno a la gestión del agua a escala de cuenca. En términos de *resultados*, los entregables incluían un Paquete de Datos Tweed, un Directorio de Recursos, una serie de Notas Técnicas (por ejemplo, el uso de partes medias de los cursos de agua) y Notas de Asesoramiento (por ejemplo, los piragüistas y la pesca), y un protocolo de trabajo para llevar a cabo obras en el río (el problema original).

Fase 2 – la compañía de ejecución de proyectos (1999-2008): En 1999 el Foro se convirtió en una empresa, *catalizada* por la necesidad de establecerse como una sociedad de responsabilidad limitada para poder ser elegible para aplicar a los fondos de la National Heritage Lottery Fund (HLF) del Reino Unido. Sin embargo, el establecimiento de la propia empresa requirió recursos, y uno de los miembros del foro (Northumbrian Water) proporcionó £25 mil para financiar el alquiler de oficinas y el empleo de la primera plantilla. Siendo ya no sólo un foro de debate, el Foro se convirtió en una "*empresa de ejecución de proyectos*". Trajo nuevos socios y facilitó la ejecución de 50 proyectos vinculados a través de toda la cuenca. La *membrecía* se amplió, y se llevó a cabo una vinculación detallada con las comunidades para preguntarles cuáles eran sus prioridades para mejorar la cuenca. Su *objetivo* era conservar, mejorar y aumentar el conocimiento del patrimonio natural, infraestructural y cultural de la cuenca, y desarrollar oportunidades de recreación y calidad de vida en la región. Los *resultados* fueron la entrega, en dos fases, de una serie de proyectos por £9.000.000 para mejorar la educación e interpretación, el patrimonio arquitectónico y cultural, el acceso y la recreación, y el patrimonio natural del Tweed.

Fase 3 – la institución de las partes interesadas (2009 -): En el año 2001, como parte del proyecto Foro de Alto Nivel (HLF, por sus siglas en inglés), el Tweed Forum designó a un oficial de planificación de cuenca, para comenzar el desarrollo de una estrategia más amplia –el Plan de Manejo de la Cuenca Tweed (CMP, por sus siglas en inglés). Este nombramiento y el lanzamiento del CMP en el año 2003 actuó como un *catalizador* de lo que fue un cambio gradual. El Foro fue visto cada vez más como *una institución de actores clave enfocada en políticas y estrategias, así como ejecutor de proyectos en el terreno.* También llevó al Foro a mirar más allá del Tweed, a colaborar con los responsables de políticas nacionales. La *membrecía* del Foro estaba bien establecida, pero aún abierta a los recién llegados, y a la creación del CMP involucrando consultas y revisiones a través de toda la cuenca. Cada vez más, el Foro fue abordado por otras personas para ayudar en el desarrollo de proyectos conjuntos y en la mediación de iniciativas locales. También fue consultado por ambos gobiernos en la formulación de políticas y la participación de actores clave. Los *objetivos* están definidos actualmente en el CMP, y el progreso respecto a los mismos es periódicamente revisado (Tweed Forum, 2010). Los *resultados* son el producto de estos objetivos, pero también de un conjunto más amplio de los principales proyectos en los que está involucrado el Foro. Estos incluyen la Restauración del Agua en Eddleston, Cheviot Futures y un programa de erradicación de especies no nativas. Finalmente, con la formación en 2009 de los grupos de asesoramiento de la zona, el Foro se convirtió en una institución, al ser la base del AAG de Tweed.

5 Discusión

El plan de manejo de la cuenca Tweed lleva adelante medidas para restaurar los cuerpos de agua que actualmente no han podido alcanzar la categoría DMA de "buen estado ecológico". En el Tweed, la mayoría de estos fracasos se deben a la contaminación agrícola no puntual; los cambios pasados en la morfología del río; y la presencia de especies invasivas no nativas. Tweed Forum, como el AAG, trabaja con la SEPA para identificar y facilitar el cumplimiento de estas medidas. Sin embargo, paralelo a este enfoque normativo se trabaja para poner en práctica su más amplio CMP en Tweed, sobre la base de la síntesis de la consulta amplia con todos los actores involucrados. Esto incluye seis temas principales: la calidad del agua, recursos hídricos, los hábitats y las especies, las obras de río, la gestión de las inundaciones, y Turismo y Recreación.

El papel principal de Tweed Forum es empoderar a las comunidades locales para lograr sus ambiciones, como se indica en el CMP. Esto lo hace mediante: (1) la facilitación de reunión entre

socios, neutralizando posibles conflictos, y reuniendo recursos para abordar en conjunto los temas de interés y preocupación comunes, (2) el aprovechamiento de las oportunidades donde pueda ser capaz de actuar con rapidez para asegurar los recursos; (3) el llenar los vacíos donde las agencias de ley y los gobiernos locales carecen de recursos, mandato o interés actual en la lucha contra un problema que preocupa a las comunidades locales, y (4) la comunicación entre las partes interesadas para mejorar el flujo de información, para aclarar las áreas de incertidumbre, y para articular y promover la negociación colectiva, metas y objetivos. Estas son las funciones y áreas que son ignoradas o vistas generalmente como de baja prioridad por las agencias y otras organizaciones que dirigen los programas más formales y obligatorios.

El éxito de Tweed Forum y su método actual de trabajo no es sólo un ejemplo destacado de fortalecimiento de la gobernanza para la sostenibilidad, sino que también pone de relieve la importancia de basar las acciones en una plataforma de evidencia científica fuerte. Se trabaja en colaboración con universidades e institutos de toda una gama de las ciencias biofísicas y sociales. En este sentido, cumple otro de los temas de la iniciativa HELP del PHI, con proyectos que ofrecen resultados en áreas como la elasticidad ante el cambio climático; los servicios ecosistémicos; y en el uso de la ciencia y el conocimiento en la gestión. Cada vez más, el Tweed Forum se enfoca en la vinculación de la ciencia y la política, y ha llegado a ser visto como una importante "voz" de los actores locales. Ha proporcionado información a los responsables de formular políticas en el gobierno, en particular en el desarrollo de asociaciones comunitarias para la gestión sostenible de cuencas.

El desarrollo del Tweed Forum como una organización de influencia ha tomado 20 años. Durante este proceso, el Foro ha acumulado un conocimiento enorme sobre la cuenca y, más importante aún, también ha construido la confianza, tanto entre los miembros del Foro como, cada vez más, entre el Foro Tweed y las demás partes interesadas con las que trabaja. Su crecimiento como organización observó un cambio gradual desde el enfoque de la reacción inicial ante una sola cuestión, a través de la entrega de proyectos y la planificación estratégica. Ahora ocupa un papel de "intermediario de confianza" entre los actores locales y el gobierno. Todavía facilita y ofrece actuaciones sobre el terreno (una de sus principales fortalezas) y debe continuar haciéndolo. Al mismo tiempo, actualmente, también ayuda a establecer la agenda estratégica a nivel local y, cada vez más se vincula con asuntos sobre aguas nacionales, gestión en relación con el agua y formulación de políticas. Está claro que la transformación de Tweed Forum sólo se logró gracias al impulso oportuno proporcionado por una serie de catalizadores. A estas oportunidades hay que añadir la adquisición de fondos básicos en momentos críticos para apoyar a la propia organización, y la fe de una serie de líderes con visión y empuje. El financiamiento sigue siendo un desafío, ya que Tweed Forum sigue manteniendo su posición independiente (nunca ha recibido financiamiento directo del gobierno).

Muchas otras organizaciones similares de cuenca existen actualmente, tanto en Escocia (por ejemplo, la cuenca HELP Dee) como en el Reino Unido (por ejemplo, West Country Rivers Trust). Sin embargo, pocas se han desarrollado como un cuerpo sostenible del "tercer sector", paralelamente a los procesos oficiales de gobierno con enfoque de arriba hacia abajo reflejados en la DMA. En parte, esto es debido a la escala, pues la mayoría operan en un área mucho más pequeña que la cubierta por sus respectivos AAG; en parte, esto se debe sin duda a la falta de recursos y competencias. También puede reflejar el tiempo desde la creación y en qué punto de este proceso se encuentran. Por último, puede reflejar el modelo original de la propia organización, y la razón de su creación (Watson y Collins, 2007). No todas las organizaciones de cuenca desean, o necesitan ir más allá de las fases primera y segunda; sin embargo, para lograr un impacto necesitan trabajar a escala de cuenca, reconocer la interconexión de los temas del agua, y abordar plenamente los desafíos de la participación de actores clave y la gobernabilidad.

REFERENCIAS

Blackstock, K. y Richards, C. (2007) Evaluating stakeholder involvement in river basin planning: a Scottish case study. *Water Policy* 9: 493-512.

Bonell, M. (2004) How do we move from ideas to action? The role of the HELP programme. *International Journal of Water Resources Development* 20: 283-29.

Collins, K. (2004) *The Tweed Forum and the Tweed Catchment Management Plan*, SLIM Case Study Monograph 10 (acceso en: http://slim.open.ac.uk).

Hendry, S. (2008) River Basin Management and the Water Framework Directive: in need of a little HELP? *Journal of Water Law* 19: 150-156.

Ison, R., Roling, N. y Watson, D. (2007) Challenges to science and society in the sustainable management and use of water: investigating the role of social learning. *Env. Sci. & Policy* 10: 499-511.

Newson, M. (2009) *Land, Water and Development: Sustainable and Adaptive Management of Rivers.* Routledge, London

Spray, C.J. (2010) Targeted species management within a wider ecosystem approach. En: *Species Management – Challenges & Solutions for the 21st century*. Ed: Baxter, HMSO, Edinburgh, 497-515.

Spray, C.J., Ball, T. y Rouillard, J. (2010) Bridging the Water Law, Policy, Science interface: Flood Risk Management in Scotland. *Journal of Water Law* 20 (2/3): 165-174.

Tweed Forum. (2010) *Tweed Catchment Management Plan Review,* Tweed Forum, Melrose.

Watson, D. y Collins, K. (2007) *High Level Audit of Participative Water/Catchment Initiatives in England and Wales.* Internal report to Environment Agency, Bristol.

Una revisión de los efectos de la política de cuencas en las cuencas altas de Davao

DECLAN HEARNE[1] Y VERNA MARIE MONSANTO[2]
1 Red HELP Davao, Filipinas
dhearne76@gmail.com
2 Universidad de las Filipinas, Mindanao, Filipinas

Resumen La creación de políticas y su promulgación puede ser la parte fácil cuando se trata de la gestión de las prácticas de uso de la tierra. En el manejo de cuencas hidrográficas en las Filipinas, lo que sucede después de que se introduce una política es que esta es rara vez supervisada. En 2007, las partes interesadas locales en la ciudad de Davao tuvieron éxito en la promoción de la adopción de una política de cuencas hidrográficas que busca el equilibrio entre los objetivos de desarrollo y la conservación. Desde entonces se ha mantenido el enfoque en la necesidad de la aplicación del Código, pero ha habido poco énfasis en los efectos reales de la política en los usuarios de la tierra. Mientras que a nivel de la Ciudad la participación de la sociedad civil y de los grupos empresariales es activa, las comunidades marginales de las tierras altas siguen siendo destinatarios de la política en lugar de ser participantes de su gobernabilidad. Esta breve revisión analiza los efectos del Código de Cuencas Hidrográficas en dos grupos diferentes de usuarios de la tierra. Se recomiendan unidades paisajísticas en escalas de sub-cuencas hidrográficas para permitir que más políticas adaptables puedan integrar las metas de productividad y de los ecosistemas. Se recomiendan enfoques dirigidos por las comunidades que estén basados en la ciencia, para permitir una participación más profunda y la implementación de las políticas de cuencas hidrográficas.

Palabras clave Cuenca Hidrográfica; cambio en el uso de la tierra; paisajes; política y toma de decisiones

1 Introducción

Una política efectiva puede ser una poderosa herramienta para dirigir las prácticas socio-económicas del uso de la tierra, sin embargo, si está mal diseñada o ejecutada, una política bien intencionada puede tener muchos resultados no deseados. En la ciudad de Davao, el Código de Cuencas Hidrográficas de 2007 establece las disposiciones para la protección, conservación y manejo de las cuencas hidrográficas. El Código establece para ello la regulación del uso del suelo en zonas sensibles de las cuencas hidrográficas.

Los Pueblos Indígenas (PI) y las comunidades de agro-negocios son los principales usuarios de la tierra en la cuenca alta de la ciudad de Davao. En la actualidad existen indicios aparentes de que el Código Hídrico de Cuencas Hidrográficas de la Ciudad de Davao, en diversos grados, ha distanciado ambos grupos de usuarios. Cuatro años después de su inicio, no hay, sin embargo, trabajos publicados de revisión de los impactos del Código de Cuencas Hidrográficas en los usuarios principales de la tierra. Esto representa un riesgo para la gestión hídrica en la región, teniendo en cuenta que sin la supervisión de los impactos de las políticas es difícil dirigir los cambios adaptativos que puedan reducir las consecuencias no deseadas y mejorar la posibilidad de obtener los alcances de resultados deseables. Este caso de estudio, por lo tanto, busca evaluar los efectos de la legislación actual en las prácticas de uso del suelo de las comunidades de tierras altas.

2 Contexto

Mientras que la Red HELP-Davao ha tenido éxito en la promoción del cambio, aún se reconoce que los cambios en los enfoques de gobernabilidad no pueden mantener el ritmo de los cambios climáticos en la población y en los mercados. El reto para Davao es que en la cuenca hidrográfica alta la degradación de los ecosistemas, incluyendo la pérdida de cubierta forestal, la erosión del

suelo y el deterioro de la calidad del agua, parece continuar a pesar de los esfuerzos de la Red y de las partes interesadas en general. Con las recientes crecidas de los ríos que causan pérdidas de vida y daños económicos, existe un mayor riesgo de que las comunidades de tierras altas sean culpadas por las agencias gubernamentales de causar la pérdida de las funciones de la cuenca hidrográfica. En esta revisión se observan las reacciones de dos usuarios predominantes de la tierra, los Pueblos Indígenas (PI) y la comunidad de agro-negocios, desde la aplicación del Código de Cuencas Hidrográficas en 2007. Específicamente nos concentramos en: a) el rango de presiones y respuestas de la política social al Código de Cuencas Hidrográficas de la Ciudad de Davao; b) comprender las estructuras de poder que gobiernan las tierras altas; c) definir los principales tipos de paisaje orientados al usuario, y d) tratar de hacer recomendaciones que puedan llevar a políticas de uso del suelo adaptativas y equitativas.

Marilog es un distrito situado en la cuenca hidrográfica alta de la ciudad de Davao, y es el área de enfoque de las comunidades de PI, mientras que para la comunidad de agro-negocios el enfoque está en el sector bananero de la ciudad de Davao. Entrevistas informales y talleres se utilizaron como fuentes de datos e información para el estudio.

3 Política y respuestas de las partes interesadas

Un Código de Cuencas Hidrográficas se introdujo en 2007 a nivel de la Ciudad, y las disposiciones correspondientes de Implementación de Reglas y Reglamentos (IRR, por sus siglas en inglés) se aprobaron en 2008. El Código de Cuencas Hidrográficas ha impuesto restricciones a los usos del suelo en áreas identificadas como zonas de conservación o áreas agro-forestales/no-arables. El código regula el uso de 34.000 hectáreas de áreas en cuencas hidrográficas, que se clasifican en áreas de conservación, áreas agro-forestales no-arables y tierras agrícolas de primera. El desarrollo de infraestructura y las plantaciones de de mono-cultivo están prohibidas en las dos primeras categorías. Tres entidades fueron creadas para liderar la implementación del código:

- El Consejo de Gestión de Cuencas Hidrográficas (WMC, por sus siglas en inglés), órgano de formulación de políticas encabezado por el alcalde
- El Consejo de Monitoreo Multipartidario de Cuencas Hidrográficas (WMMC, por sus siglas en inglés), que supervisaría las violaciones y las intrusiones en las áreas de conservación
- El Consejo de Monitoreo de la Cuenca Hidrográfica de Barangay (BWMC, por sus siglas en inglés) que se encarga de monitorear las actividades agrícolas y la delimitación de las áreas cubiertas por el Código de Cuencas Hidrográficas

A pesar de un gran interés en la política a nivel de la Ciudad, ha habido muy poca evidencia de esfuerzo de campo para implementar la misma. A partir de 2008, hasta el año 2010, ninguno de los órganos creados en virtud del Código fue activado. En julio de 2011 el Alcalde de la Ciudad reconstituyó el Consejo de Gestión de Cuencas Hidrográficas (WMC), sin embargo, el presupuesto asignado para el año 2011 se considera insuficiente para iniciar una acción real sobre el terreno. Faltan todavía por reconstituirse el WMMC y el BWMC.

Desde la promulgación del código ha habido una amplia cobertura mediática de la resistencia del sector bananero a los aspectos del Código de Cuencas Hidrográficas. El sector bananero ha expresado sus inquietudes sobre las pérdidas en competitividad conforme el código introduce restricciones que requieren un cambio en los sistemas de producción. Los cambios incurrirán "costos de transición" para las plantaciones. El uso de terceros o intermediarios para la producción del banano y el cambio de sistemas de producción a ecosistemas vecinos fuera de los límites de la Ciudad han sido reportados en los medios locales de comunicación (Balanza, 2006). Bajo este escenario, la política solamente ha transferido los temas y no los ha resuelto como estaba previsto.

En muchas comunidades de PI hay poca comprensión de los resultados previstos del Código de Cuencas Hidrográficas. Hay ejemplos en los que las comunidades de PI perciben el Código de Cuencas Hidrográficas como una barrera para su desarrollo cultural y económico. Dentro de estas comunidades hay poca conciencia (o interés) de que las restricciones de la tierra han sido identificadas a través de un análisis científico de la topografía y el sustrato geológico. Las comunidades que no han sido consultadas se centran naturalmente en lo que se puede perder, en lugar de en lo que se podría ganar. Esta aversión a la pérdida da por resultado que las comunidades formen posiciones en contra del código de cuencas hidrográficas. El esfuerzo necesario para volver a ganar los corazones y las mentes de las comunidades puede resultar costoso.

4 Las estructuras de poder que rigen las tierras altas

Mientras que el derecho formal tiene la máxima autoridad legal que orienta y controla la gestión de los recursos naturales en Filipinas, en las tierras altas y en muchas comunidades rurales el impacto real a nivel del campo es muy limitado. A través de la Ley de los Derechos de los Pueblos Indígenas (IPRA, por sus siglas en inglés) de 1997 y el Código de Cuencas Hidrográficas de la Ciudad de Davao de 2007 se proporcionan las disposiciones formales para la integración de las costumbres de los PI. Sin embargo, el nivel de participación en el desarrollo y la implementación de la política local tienen aún mucho margen para su mejoría.

Las intervenciones de las ONGs pueden proporcionar ejemplos de trabajo con miembros de la comunidad de PI para reconocer mejor los beneficios del desarrollo de su tierra en un enfoque sostenible y económicamente viable. La Kinaiyahan Foundation, Inc. (KFI) actualmente tiene una asociación en curso con las comunidades que ha ayudado a alimentar la importancia de preservar los sistemas del conocimiento indígena, con el fin de lograr cambios sostenibles y equitativos en las prácticas de uso del suelo (Cabrera, 2006). La KFI reconoció que con el fin de empoderar a las comunidades a comprender y preocuparse por la reversión de las tendencias negativas en la salud del ecosistema, el proceso de aprendizaje y el descubrimiento social de la auto-conciencia tendría que ser aceptado. Este proceso de aprendizaje no era algo que el KFI buscara venderle a la comunidad, más bien, la KFI se dio cuenta de que si querían tener una verdadera asociación con la comunidad, tendría que ser un viaje que ambas partes adoptarían.

5 Definición de paisajes para acciones específicas

La legislación filipina establece la clasificación del suelo, la cual está regulada por el DENR; el Departamento de Agricultura (DA) mapea el uso agrícola y las Unidades de Gobiernos Locales (LGU, por sus siglas en inglés) tienen la responsabilidad de elaborar Planes Comprensivos del Uso del Suelo, pero estas clasificaciones formales a menudo no reflejan con exactitud el mosaico local del uso actual del suelo y la cobertura vegetal. A nivel local, el Código de Cuencas Hidrográficas de la ciudad de Davao requiere la delimitación del uso de las principales zonas agrícolas y su utilización para las actividades humanas y económicas. Las prácticas dañinas ecológicas, según el Código de Cuencas Hidrográficas, se controlan en áreas ambientalmente sensibles; mientras que a la tierra agrícola de primera calidad se le induce adoptar una agricultura que pueda garantizar "la seguridad alimentaria que pueda llevarse a cabo a través de la agricultura sostenible y respetuosa del medio ambiente, en un equilibrio armónico entre el desarrollo económico y protección del medio ambiente."

La dirección establecida en el Código de Cuencas Hidrográficas está estrechamente alineada con el enfoque de *Satoyama*[1] de reconocer los sistemas de uso del suelo que están definidos por los

1 La Iniciativa Satoyama aspira a desarrollar sociedades en armonía con la naturaleza, donde la biodiversidad y el bienestar humano se mantienen en armonía.

usos dominantes de usos de producción socio-ecológica en la zona. La Iniciativa *Satoyama* define los grupos de uso de esa tierra como "paisajes de producción socio-ecológica". La adopción de los tres principales grupos de control, como se indica en el Código de Cuencas Hidrográficas, puede identificar tres tipos de paisajes principales: a) paisajes de subsistencia agroforestal, b) paisajes de uso mixto de agricultura migrante y c) paisajes productivos de agro-industria.

La definición de paisajes de producción socio-ecológica puede complementar la clasificación formal de tierras. Evaluaciones visuales se llevaron a cabo para ayudar a los encargados de formular políticas urbanas a que tuvieran una mejor comprensión de la interacción espacial entre los diferentes elementos socio-ecológicos de cada paisaje. Sin embargo, para que los desarrolladores tengan un entendimiento más profundo sobre las relaciones entre las presiones y los recursos, necesitamos ver cómo los paisajes han cambiado con el tiempo. El cambio del uso de suelo para la cuenca alta fue mapeado mediante el enfoque espiral de la GIRH-UNESCO. Una observación clave de la espiral del uso de la tierra es que los cambios en el paisaje tienden a ser observados en forma causal durante largos y razonables plazos (es decir, décadas). Por desgracia, el lapso de tiempo disponible para los tomadores de decisiones elegidos democráticamente es mucho más corto, y esto no alienta la consideración de perspectivas a largo plazo.

6 Discusión y recomendaciones

La degradación de los ecosistemas de altura se observa que impacta la capacidad de las comunidades de Pueblos Indígenas (PI) para sostener formas de vida tradicionales, y afecta negativamente la salud y el bienestar de las comunidades locales. Esta degradación pone de relieve la oportunidad perdida para los posibles beneficios económicos de los bosques existentes y los sistemas agroforestales de producción. La degradación de las pendientes pronunciadas en el área también ha aumentado la vulnerabilidad de las comunidades locales a deslizamientos de tierra, y la carga económica de las comunidades río abajo es cada vez mayor, debido al aumento de la severidad y la frecuencia de las inundaciones repentinas.

A pesar de la importancia vital de los servicios del ecosistema, es notorio que los líderes de los sectores públicos y privados han sido lentos en incorporar estos beneficios en la toma de decisiones (Chan, 2006). Esta lenta incorporación expone una compleja red de factores que va más allá de la ciencia, y refleja la necesidad de considerar factores sociales, culturales y económicos. Cada vez más, el aumento de evidencias (Ancrenaz, 2007) apunta a que para la conservación eficaz las iniciativas deben llevarse a cabo a nivel del paisaje y estar acopladas con consideración para con las personas y los servicios de los ecosistemas.

El banano, y las oportunidades económicas asociadas, es un fuerte impulsor del cambio en las prácticas de uso cultural y del suelo en toda la región. El continuo crecimiento del sector del banano presenta riesgos evidentes, pero también puede ofrecer oportunidades económicas para las comunidades de PI. El reto para los encargados de formular políticas será cómo guiar la evolución de las prácticas de gestión del paisaje para recoger algunos de los beneficios económicos, vistos en los modelos de producción de agro-negocios, pero que aún conserven los niveles deseables de la integridad cultural y ecológica en toda la región. Los encargados de formular políticas deberían considerar las herramientas de mercado para dirigir las prácticas de uso del suelo. Los procesos de certificación, como el del Rainforest Alliance, están creciendo en Mindanao, y proporcionan oportunidades para mejorar los modelos sociales, ecológicos y económicos para la producción del banano.

Mientras que la economía seguirá siendo un factor clave en las prácticas del uso del suelo, las dimensiones socio-culturales también son fundamentales para que las acciones políticas sean

más adaptables y sostenibles. De estos resultados, cuatro lecciones claves son extraídas y son consideradas como valiosas herramientas para los tomadores de decisiones y administradores del uso del suelo, para poder garantizar que las políticas estén en sintonía con el agua tierras arriba y los usuarios de del suelo.

Gestión dirigida por la comunidad

Los procesos de participación constructiva y de aprendizaje social conjunto con los grupos de usuarios de la tierra (reunidos en paisajes de producción socio-ecológica) pueden ayudar a los responsables de políticas a entender mejor las prácticas actuales de uso de la tierra. Una mejor comprensión puede permitir más programas y políticas adecuadas de protección de áreas críticas, evitar conflictos y ayudar a los grupos marginados a tener una apreciación económica más profunda de sus tierras. La KFI en Marilog es un buen ejemplo de cómo la administración dirigida por la comunidad puede dar lugar a prácticas a nivel del terreno, con beneficios económicos y ecológicos positivos en las comunidades locales y aguas abajo. Los Consejos de Monitoreo de la Cuenca Hidrográfica de Barangay (BWMCs) proporcionan una estructura formal que puede permitir la ejecución dirigida de políticas formales por la comunidad. Ahora, los esfuerzos deben centrarse en el establecimiento y la mejoría de la capacidad de tales consejos.

Enfoques basados en derechos

Las políticas de tierra y agua que no toman en cuenta estos sistemas tradicionales pueden dar por resultado costosas barreras para la implementación a nivel de campo. Se prevé que el tiempo invertido en la adecuación del derecho consuetudinario y formal en los ecosistemas de las tierras altas filipinas se traducirá en tasas de adopción más alta, lo que aumentará la probabilidad de lograr los impactos previstos de la política, y es más probable que se mantenga en el tiempo, frente a otros programas de aplicación forzosa de la ley formal. El BWMC ofrece nuevamente una estructura adecuada para la integración de los enfoques basados en derechos con la aplicación de las leyes formales.

Enfoques basados en evidencia

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) es una distribución equitativa del marco de toma de decisiones para la asignación de los recursos hídricos y las políticas de uso del suelo al nivel de cuenca hidrográfica. La adopción de un enfoque de paisaje puede ayudar al desarrollo de políticas adecuadas para diferentes sistemas de producción (por ejemplo, la subsistencia agroforestal, la agro-industria, etc.). Estos paisajes se pueden identificar como unidades de sub-cuenca hidrográfica, definidos por el uso real a nivel de campo, incluyendo los sistemas dominantes sociales, ecológicos y productivos. El uso de la Espiral de la GIRH-UNESCO también puede ayudar a los responsables políticos y a las comunidades locales a entender los cambios a largo plazo en sus paisajes, y a determinar los plazos previstos para que las políticas logren un cambio a nivel de campo.

Monitoreando los impactos a través de asociaciones

La negociación y la identificación de enfoques que enlacen sistemas de producción social con las tendencias de salud de los ecosistemas requieren un proceso de adaptación permanente. Estos procesos requieren un intercambio activo de conocimientos entre el usuario y el responsable político. Los oficiales de extensión de campo de una serie de oficinas del gobierno local y regional (planificación,

agricultura, medio ambiente, gestión de la salud y riesgo de desastres) deben ser capacitados para facilitar el intercambio de conocimiento, la innovación en las prácticas de uso del suelo, y proporcionar información efectiva a los responsables políticos y administradores. Estos lazos retro-alimentadores no son tradicionalmente bien establecidos en las agencias de gobierno, y esta puede ser un área donde las asociaciones entre la sociedad académica, empresarial y civil, como la Red HELP-Davao, pueden desempeñar roles clave de valor agregado.

7 Conclusión

En Davao, la fuerte participación de las partes interesadas se ha traducido en la adopción de políticas formales que orientan el desarrollo y la conservación de los recursos hídricos y de los suelos. A la fecha, este enfoque ha construido un mejor capital social; pero se requieren aún más acciones con el fin de liberar el potencial de la GIRH para reducir la pobreza, lograr un crecimiento más verde, y una mayor capacidad de adaptación ante el cambio climático y otros cambios en el uso del suelo y del agua. Esta falta de beneficios medibles de los esfuerzos de la política debe dar lugar a la necesidad de reflexión en torno a la pregunta de que si el *status quo* es una forma aceptable para continuar la manera de gestionar el agua y el suelo. Las partes interesadas deben estar listas y dispuestas a reconocer las limitaciones de los esfuerzos en curso, y deben estar preparadas para identificar lo que ha funcionado y lo qué no. Las partes interesadas deben seguir buscando mejores vías para comprometer mejor a los usuarios finales, para que estos trabajen con la política y puedan construir sociedades que sean más productivas y más en armonía con la naturaleza.

Agradecimientos

La Red HELP-Davao, el Departamento de Ciencia, la Región Tecnológica XI y la Kinaiyahan Foundation, Inc., son reconocidos por su apoyo en la realización de este estudio.

REFERENCIAS

Ancrenaz M, Dabek L, O'Neil S. (2007) The Costs of Exclusion: Recognizing a Role for Local Communities in Biodiversity Conservation. *PLoS Biol* **5** (11): e289.

Cabrera, Z. Gonsalves J. y Queblatin, E. (2006) *Forest Management Through Local Level Action Small Grants Programme for Operations to Promote Tropical Forests*.

Calderon, Reynan P. (2003) *Assessing Benefits and Costs of Commercial Banana Production in the Philippines*. Institute of Strategic Planning and Policy Studies, (ISPPS).

Conception, J.T. (2006). *Marilog Barangay Profile 2007 – 2011*, JSF.

Kai M. A. Chan, M. Rebecca Shaw, David R. Cameron, Emma C. Underwood, Gretchen C. Daily. (2006) Conservation Planning for Ecosystem Services. *PLoS Biol*, Nov. 2006.

Macario D. Tiu. (2005) *Davao Reconstructing History from Text and Memory*, ADDU Press.

Mejorando la gobernanza local en las cuencas hidrográficas: algunas lecciones aprendidas de Honduras y Nicaragua

HANS KAMMERBAUER
Programa de Cuencas Hidrográficas y Cambio Climático, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica
johann@catie.ac.cr

Resumen Las cuencas hidrográficas en América Central proveen importantes servicios ecosistémicos, en especial para la regulación del flujo de agua, pero están siendo crecientemente amenazadas por la degradación ambiental. Cuestiones clave en este proceso son el fortalecimiento institucional y la gobernanza local. Un marco de modelo de cogestión adaptativa (MCA) para cuencas hidrográficas fue validado en cuatro sub-cuencas hidrográficas en Honduras y Nicaragua. El modelo incluyó: (a) plataformas formales e informales para la toma de decisiones; (b) una agenda territorial común; (c) el manejo de territorios críticos para la regulación del flujo de agua a través de un enfoque de servicios ecosistémicos; (d) un fondo ambiental común local; (e) aprendizaje social, y (f) relaciones de territorios a través de escalas. Los beneficios principales del modelo se relacionan con la visualización de la complejidad de la gobernanza de cuencas hidrográficas de una manera simple y convincente, la convergencia institucional, la participación y empoderamiento de actores y personas claves, y la cohesión y sinergia entre organizaciones con una aumentada comprensión mutua y confianza. Se han observado cambios significativos en el uso de tierras y prácticas de agricultura, con efectos positivos sobre la calidad del agua. No obstante, los altos costos de implementación, la sostenibilidad financiera y la ausencia de sectores privados y urbanos han sido algunos de los obstáculos y desafíos en la implementación del modelo. Aun así, el modelo permite la integración activa de estructuras sociales y procesos ecológicos.

1 Introducción

La gobernanza de las cuencas hidrográficas se relaciona esencialmente con la resolución de conflictos y el fortalecimiento institucional en lo referente a asuntos del agua. Las actuales condiciones institucionales, en muchos casos, no son suficientes para ofrecer soluciones en el uso de las tierras y la protección de áreas críticas de recarga de agua. Esto es especialmente así en las regiones montañosas de los países Centroamericanos, donde la regulación y la calidad del agua pueden verse crecientemente afectadas por los cambios climáticos (Bates, *et al*., 1998). Las personas clave en estas situaciones son los dueños de tierras y los usuarios del agua, quienes normalmente no tienen relaciones institucionales directas. En este contexto, las instituciones se refieren a las reglas y normas que regulan las decisiones y el comportamiento de las organizaciones y la gente sobre el uso de los recursos naturales y su manejo. En vista de que el agua tiene una fuerte relación con los territorios, desde la perspectiva de las cuencas hidrográficas, esto podría resultar en una situación que se conoce como *la tragedia de los comunes* (Hardin, 1968; Dietz, *et al*., 2003) y cuya solución requiere de arreglos colaborativos entre las autoridades locales, organizaciones locales y otras personas clave en el territorio. Una variedad de estudios en diferentes países ha demostrado que, en ciertas circunstancias, los usuarios de los recursos dedican tiempo significativo a generar reglas que mejoran la conservación de los recursos, en contraste con otras situaciones (Altrichter, 2008; Antunes, *et al*., 2009; Ostrom, 2009). Esto significa que se podría invertir energía social importante por parte de las personas locales para diseñar e implementar estructuras de gobernanza a nivel local bajo diferentes condiciones de recursos y contextos de recursos comunes. Se espera que arreglos dentro de un modelo de cogestión adaptativa (MCA) que involucren a todos los actores relevantes puedan superar estos dilemas, o al menos reducir conflictos y contribuir a desarrollar reglas y normas basadas en los intereses públicos y en el sentido común (Olsson, *et al*., 2004; Plummer y Armitage, 2007).

Este documento se enfoca en asuntos de gobernanza en el manejo de cuencas hidrográficas, basados en experiencias de campo en cuatro cuencas hidrográficas de Honduras y Nicaragua. Un marco de MCA es utilizado para analizar factores críticos para una gobernanza de cuencas hidrográficas exitosa. Primero se ofrece información sobre los sitios de estudio y los métodos. Luego se presentan los hallazgos principales, agrupados en beneficios y desafíos. Y finalmente se presenta una breve discusión, incluyendo algunas conclusiones.

2 Sitios de estudio y métodos

El proyecto Focuencas II del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) ha implementado acciones e investigaciones en cuatro subcuencas de Honduras y Nicaragua desde octubre de 2004 hasta la fecha del informe actual. Un resumen de estos sitios se presenta en la Tabla 1. Estas pequeñas cuencas son representativas de las condiciones hidrológicas en América Central, que van desde zonas tropicales secas hasta zonas semi-húmedas, en regiones montañosas con altitudes que varían entre 700 y 2200 metros sobre el nivel del mar. En las cuatro cuencas, la actividad económica predominante es la producción agrícola de granos básicos, combinada con producción de café (en Copán y Jucuapa), y pastoreo de ganado en una mayor escala (en Copán). Actividades turísticas están presentes en los centros urbanos de Copán (las *Ruinas Mayas de Copán* y en el Valle de Ángeles).

Tabla 1 Algunos aspectos de los cuatro sitios de implementación y estudio en Honduras y Nicaragua.

Subcuencas de río	Superficie (km^2)	Población	Principales riesgos ambientales	Contexto Social
Subcuenca del río Copán, municipalidades de MANCORSARIS: Ruinas de Copán, Cabañas, Santa Rita y San Jerónimo, Honduras	619	69.000	Contaminación del agua potable y vulnerabilidad a inundaciones y deslizamientos de tierra	Pobreza rural y migración
Subcuenca de la municipalidad de Valle de Ángeles (principalmente el Río Soledad), Honduras	107	14.000	Urbanización de áreas forestales, disponibilidad reducida y contaminación del agua potable, riesgos de inundaciones	Dicotomía de la pobreza rural y la riqueza urbana, presión urbanística
Subcuenca del río Aguas Calientes, municipalidades de Somoto y San Lucas, Nicaragua	47	7.200	Sequía, escasez y contaminación de agua potable y para uso agrícola y del ganado	Pobreza rural
Subcuenca del río Jucuapa, municipalidades de Matagalpa y Sébaco, Nicaragua	40	3.700	Escasez y contaminación del agua potable y para uso agrícola	Pobreza rural y conflictos por el agua

El presente análisis está basado en una revisión de los informes técnicos y en un estudio de impacto llevado a cabo en 2010. Un equipo de evaluación visitó los cuatro sitios de estudio y entrevistó a la gente utilizando una técnica de entrevista semi-estructurada a nivel familiar, y también organizó discusiones en grupos de enfoque con representantes de los comités de cuencas hidrográficas y organizaciones locales. La evaluación consideró los siguientes parámetros: contexto local, municipal y nacional, participación (por género, pobreza y edad), cambios en actitudes por parte de los usuarios del agua y proveedores de servicios ambientales, cohesión social y conflictos,

reglas y normas, transparencia, y responsabilidad por los mecanismos de fondos ambientales. Se hicieron observaciones en campo bajo los mismos parámetros. Aunque los investigadores analizaron y presentaron información cuantitativa, el análisis actual es inherentemente cualitativo. Un análisis general de *lo último* en recursos naturales relacionados con el agua se llevó a cabo al principio y, para ciertos parámetros, se intentó reconstruir una línea de base *a posteriori*, para comparar con el estado actual de las cuencas hidrográficas.

3 Resultados

Una propuesta marco para un MCA fue desarrollada basada en experiencias en los cuatro sitios. Una hipótesis central fue elaborada basándose en la incidencia de regulación del flujo de agua (cantidad de agua) y calidad del agua. La Fig. 1 muestra el marco para el MCA, pero se presenta aquí como una propuesta más genérica en el contexto de los recursos comunes (derivado de Kammerbauer, *et al*., 2011). Plataformas formales e informales son mecanismos sociales importantes para procesos de acuerdos en los cuales un número crítico de actores relevantes, organizaciones y grupos de partes interesadas clave, son representados democráticamente (ver detalles adicionales en: Kammerbauer, *et al*., 2011). El modelo probó ser un marco lógico y una propuesta efectiva para organizar acciones y funciones institucionales relacionadas con la gobernanza, con el fin de lograr los objetivos de intereses públicos-colectivos en un territorio definido. La percepción general de las personas entrevistadas en cada una de las cuatro cuencas hidrográficas estudiadas fue que el manejo de las cuencas hidrográficas ha mejorado, y que la degradación de los recursos que amenaza el ciclo del agua ha sido reducida. La implementación del MCA ha mostrado beneficios, pero también algunas limitaciones y desafíos, que deben ser considerados.

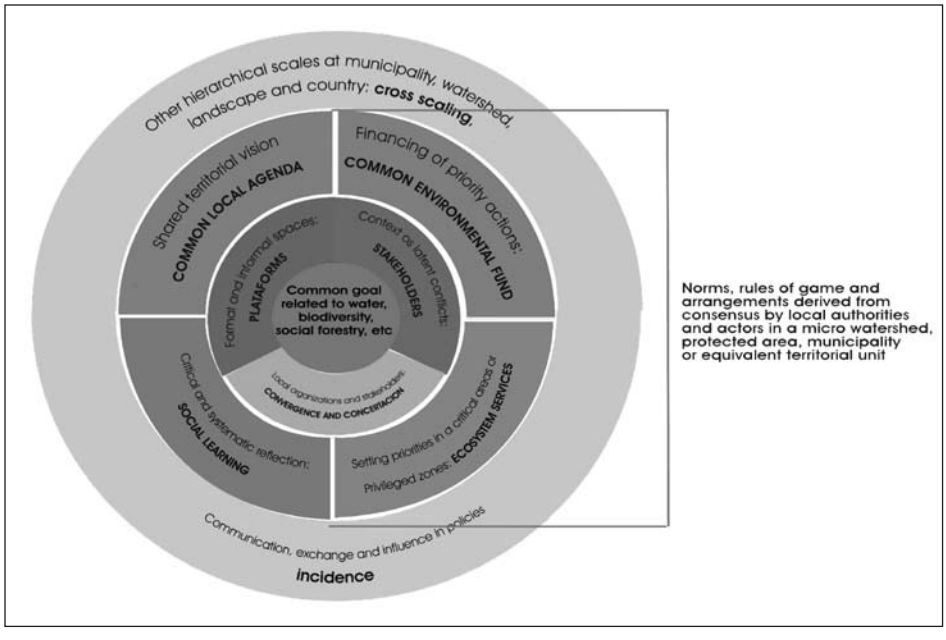


Fig. 1 Un modelo genérico de cogestión adaptativa de para recursos naturales comunes, derivado de experiencias en cuatro cuencas hidrográficas locales de Honduras y Nicaragua.
Nota: Esta Figura que trata sobre Normas, reglas de juego y arreglos derivados del consenso por parte de autoridades locales y actores en una microcuenca hidrográfica, área protegida, municipalidad o unidad territorial equivalente.

4 Ventajas y beneficios

El MCA propuesto permitió la visualización de la complejidad de los asuntos de gobernanza relacionados con las cuencas hidrográficas de una manera simple y convincente para las personas locales. Un número crítico de tomadores de decisiones, técnicos y miembros de organizaciones locales en los cuatro sitios utilizó el modelo para describir y relacionar componentes, mecanismos e instrumentos, de una manera apropiada y lógica para la implementación de acciones. Se establecieron plataformas para la toma de decisiones concertadas en diferentes escalas espaciales, dependiendo de los contextos locales en cada sitio. Por ejemplo, a nivel inter-municipal en Copán, una mesa redonda se creó para medio ambiente y producción, con representación de municipalidades, agencias estatales, comités locales de agua, comités de microcuencas, ONGs (Organizaciones no Gubernamentales) y agencias de cooperación técnica. En Valle de Ángeles, un consejo de cuenca hidrográfica surgió basado en organizaciones de la comunidad, con un registro legal como asociación local para la protección de la cuenca hidrográfica. En Nicaragua, comités de las cuencas hidrográficas fueron instalados con representación de gobiernos locales, ministerios, ONGs y organizaciones de base; éstos tenían fuertes conexiones de base en comités comunales de las cuencas hidrográficas. Estos organismos fueron estructurados abiertamente y modificados significativamente durante el período de implementación, comenzando como un núcleo de organizaciones locales o de personas interesadas, y evolucionando hacia una estructura más formal, con procesos constitutivos oficiales y probados.

El MCA permitió una mayor participación, incluyendo grupos sociales ventajosos y desventajosos. La participación de las mujeres aumentó desde un nivel muy bajo hasta una proporción significativa durante el período de estudio, que está actualmente entre 15 y 43%, dependiendo del sitio y la escala. Un factor favorecedor fue la presencia de organizaciones de mujeres a nivel municipal o el involucramiento de maestros de escuela (predominantemente maestras). A nivel comunitario, la participación de las mujeres, especialmente de mujeres jóvenes de comités locales, fue generalmente más alta (alrededor de 40% en tres sitios, con la excepción de Copán). El MCA mejoró la cohesión, generó sinergias e impidió la duplicación de acciones entre las organizaciones locales, utilizando capacidades técnicas y financieras de una manera más integrada. Se han dado acuerdos importantes entre autoridades locales y la sociedad civil para definir responsabilidades y procedimientos más claramente, con miras a la implementación de acciones administrativas. En una primera etapa, la implementación del modelo aumentó los costos de transacción para que las organizaciones participen en estas plataformas. Sin embargo, el aumento inicial fue seguido de una reducción significativa de costos, por medio de la coordinación y un uso más efectivo de los recursos, a través de compartir infraestructura, transporte y otros costos.

El modelo contribuyó a un entendimiento mutuo y de mayor confianza entre las organizaciones involucradas. En general, las organizaciones comunitarias tenían una actitud pasiva y mostraban algo de desconfianza hacia las autoridades gubernamentales. Fue difícil sobrestimar la importancia de la confianza en estas relaciones, ya que ésta es la base para resolver el flujo constante de desafíos internos (por ejemplo, procedimientos de la municipalidad) y externos (por ejemplo, políticas de donantes) de cara a la protección del agua y sus personas clave. Además, las autoridades municipales tenían un interés fuerte en mantener el control sobre el territorio bajo su jurisdicción, pero sus capacidades legales y técnicas eran limitadas. Por ejemplo, el caso de Valle de Ángeles fue particularmente interesante, ya que había una demanda por áreas de construcción urbana que se incrementaba rápidamente por parte de habitantes de la metrópolis cercana. Cuando las organizaciones locales reconocieron territorios específicos como zonas de recarga de agua potable, los consideraron como un activo para sus aspiraciones de desarrollo, y procedieron a delimitar y proteger estas zonas

específicas, imponiendo entonces un control estricto sobre las construcciones. Arreglos de protección similares se observaron para los sistemas de agua potable en los otros tres sitios implementados, principalmente por parte de los comités administrativos locales del agua.

Desde una perspectiva de impacto, se han visto cambios sustanciales en el uso de las tierras y en las prácticas mejoradas en zonas hidrológicas. Específicamente, en la cuenca hidrográfica de Jucuapa, más de cien productores de café unieron fuerzas para aplicar prácticas de cultivo ecológico del mismo y para prevenir la contaminación del río con sus residuos, que son actualmente utilizados como fertilizantes orgánicos. En la cuenca hidrográfica de Copán, una actividad prometedora comenzó con grupos de productores de ganado de mediano tamaño, con el propósito de intensificar y diversificar la producción de forrajes y así transformar los pastos (alrededor de 100 hectáreas) en bosques naturales y conservar la vegetación natural alrededor de las fuentes de agua potable para comunidades vecinas. En total, una cantidad significativa de tierras (alrededor de 2000 hectáreas) está ahora bajo un control ambiental estricto en cuanto a la recarga hidrológica, y alrededor de 1700 familias están implementando estufas más eficientes para reducir el consumo de leña en los cuatro sitios. Un manejo mejorado de las cuencas hidrográficas, combinado con facilidades mejoradas de agua potable, ha reducido la contaminación del agua y, consecuentemente, la frecuencia de enfermedades intestinales en niños y adultos.

5 Limitaciones y desafíos

Una limitación principal del modelo se refiere a altos costos de implementación y a la sostenibilidad financiera. El financiamiento principal vino de parte de fuentes externas, complementado a través de recursos locales. Se asumió que un arreglo de cogestión es una situación ganar-ganar para las partes involucradas en términos de eficiencia económica y, por tanto, se esperaba que fuerzas sociales auto-impulsadas sentaran las bases para continuar con fondos ambientales comunes o con mecanismos equivalentes, pero esto aún no ha ocurrido. Algunos mecanismos financieros sobre pagos por servicios ambientales, sistemas de crédito comunitarios y cuotas por el uso de cuencas hidrográficas han sido implementados, pero permanecen en una etapa inicial. Se requieren políticas nacionales para crear condiciones propicias para la creación de instituciones financieras, al igual que de inversiones.

El definir roles claros y responsabilidades sobre plataformas de cuencas hidrográficas, sus actores y organizaciones es un desafío principal que requiere de una serie de análisis y reflexiones por parte de sus miembros. El liderazgo es especialmente crítico para estas organizaciones de enlace y para el desempeño institucional. Las autoridades municipales ejercen un liderazgo estricto, generando diálogo y políticas locales en sólo dos casos. Más aún, los procesos se vieron obstaculizados por un cambio de gobiernos locales, con cambios subsecuentes de personal y políticas. Es necesaria la voluntad política como una condición para el éxito a largo plazo. Pero una actitud pasiva de las autoridades municipales genera apatía y pesimismo en algunas organizaciones comunitarias y permite violaciones de la autonomía municipal por parte de personas clave poderosas. En algunos casos, la cooperación de desarrollo o la asistencia técnica generó una división entre los actores locales, quienes se ven falsamente los unos a los otros como beneficiario y no beneficiarios. Una estrategia de comunicación masiva es un requisito esencial para superar algunos de estos obstáculos.

La complejidad aumentó en las escalas espacial y temporal: al nivel micro, las relaciones entre partes interesadas eran evidentes, pero al pasar a escalas macro se aprecian relaciones más distantes. Algo de comportamiento burocrático parecía una limitación al dinamismo social y al aprendizaje colectivo. La complejidad del manejo de las cuencas hidrográficas requiere de experimentación e

innovación a través del aprendizaje social. Sólo se ha logrado progreso inicial en relacionar subcuencas con territorios más amplios, y en incluir empresas privadas y el sector urbano (por ejemplo, para alcanzar los niveles regionales en Honduras, o para atender todos los territorios municipales en Nicaragua).

6 Discusión y conclusión

Un MCA es a menudo propuesto como un enfoque para atender la complejidad y la incertidumbre en el manejo de recursos naturales (Ruitenbeek y Cartier, 2001; Plummer y Armitage, 2007), pero su implementación requiere comprensión y una apropiación fuerte del concepto y el marco por parte de actores sociales y personas clave involucradas. El contenido y la lógica de implementación deben ser manejados por un número crítico de miembros de organizaciones locales, técnicos y autoridades de municipalidades, agencias estatales y otras organizaciones. El aprendizaje social es un ingrediente importante para la innovación en el manejo integrado del agua (Cundill, 2010; Pahl-Wostl, *et al*., 2008; Rist, *et al*., 2007). Un enfoque sectorial es necesario, pero no suficiente, para llevar soluciones apropiadas para manejar el agua como un bien común.

Las partes involucradas deben tener un interés real y un compromiso para entrar en arreglos de cogestión, que podrían no siempre ocurrir, ya que la creación de este proceso consume mucho tiempo al principio (Borrini-Feyerabend, *et al*., 2000). Se debe dar atención especial a la facilitación y a la conducción de procesos sociales para el empoderamiento, sin manipular ni involucrarse en la toma de decisiones. Esto requiere competencia profesional en moderación y técnicas de facilitación. Por lo tanto, la capacitación en el manejo de cuencas hidrográficas debe incluir conocimientos teóricos sobre los conceptos subyacentes, al igual que ejercicios prácticos, en el manejo institucional. La "democracia participativa" como un principio guía requiere análisis de su mecanismo legítimo, y se requiere que sean desarrollados criterios transparentes. Empresas privadas y grandes dueños de tierras podrían tener una influencia importante sobre la dinámica del agua, y se requerirá incluir externalidades en sus análisis de costo-beneficio. La actual experiencia resultó ser muy limitada en este aspecto.

Se han experimentado arreglos multinivel en los sitios de implementación, incluyendo una asociación municipal. Este tipo de gobernanza es referido como una gobernanza de estructura pluri o policéntrica, que puede promover la innovación y la experimentación (Imperial, 1999; Olsson, *et al*., 2007). Un desafío mayor en relación con la escala se encuentra en torno a cómo encajar la dimensión de la gobernanza de ecosistemas dentro de los sistemas sociales, para crear estructuras dinámicas (Olsson, *et al*., 2007). La vinculación de diferentes sistemas de niveles y conocimientos requiere un rol activo de las organizaciones. Debe esperarse que la comunidad científica, como un grupo de interés, participe en estos arreglos para la generación de conocimientos y la identificación de limitaciones. Algunas decisiones pueden basarse en el principio de precaución, especialmente en el manejo de las cuencas hidrográficas.

Las políticas nacionales deben crear condiciones que propicien acuerdos colaborativos en cuencas hidrográficas integradas relacionados con el MCA. Se ha demostrado que la presente experiencia ha aumentado la eficiencia para mantener o restaurar el sistema natural de apoyo para el ciclo del agua. Se puede concluir que hay una necesidad de comprender y manejar activamente las estructuras sociales subyacentes y los procesos ecológicos. El modelo propuesto parece útil, no solamente para promover el diálogo y la colaboración entre los actores, sino para servir como un marco para identificar asuntos y relaciones importantes.

Reconocimientos

Quisiera expresar mi gratitud hacia mis colegas, miembros de los comités de cuencas hidrográficas, autoridad locales y todos los demás participantes por sus valiosas contribuciones. El proyecto Focuencas II de CATIE fue financiado por la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Estocolmo, Suecia.

REFERENCIAS

Altrichter, M. (2008) Assessing potential for community-based managing of peccaries through common pool resource theory in rural area of the Argentine Chaco. *Ambio* 17: 108-113.

Antunes, P., Kallis, G., Videira, N., Santos, R. (2009) Participation and evaluation for sustainable river basin governance. *Ecological Economics*, 68: 931-939.

Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (Eds.) (1998) *Climate change and water*, Technical paper VI, IPCC Secretariat, Ginebra, 210 p.

Borrini-Feyerabend, G., Farvar, M.T., Nguinguiri, J.C., Ndangang, V.A. (2000) *Co-management of natural resources: organizing, negotiating and learning-by-doing*. GTZ & IUCN, Kasparek Verlag, Heidelberg, Alemania.

Cundill, G. (2010) Monitoring social learning processes in adaptive comangement: Three case studies from South Africa. *Ecology and Society* 15(3): 28

Dietz, T., Ostrom, E., Stern, P. (2003) The struggle to govern the commons. *Science* 302: 1907-1912.

Hardin, G. (1968) The tragedy of commons. *Science* 162: 1243-1248.

Imperial, M.T. (1999) Institutional analysis and ecosystem-based management: The institutional analysis and development framework. *Environmental Management* 24: 449-465.

Kammerbauer, H., León, J.A., Castellón, N., Gómez, S, González, J.M., Faustino, J., Prins, C. (2009) *Plataformas de concertación: una apuesta por la gobernabilidad local en cuencas hidrográficas*. CATIE Tegucigalpa, Honduras, 71 p.

Kammerbauer, H., León, J.A., Castellón, N., Gómez, S., Faustino, J., Prins, C. (2011) Modelo de cogestión adaptativa de cuencas hidrográficas. Propuesta conceptual basada en la revisión crítica de las experiencias en Honduras y Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente*, 59-60: 117-122.

Olsson, P., Folke, C., Berkes, F. (2004) Adaptive comanagement for building resilience in socio-ecological systems. *Environmental Management* 34: 75-90.

Olsson, P., Folke, C., Galaz, V., Hahn, T., Schultz, L. (2007) Enhancing the fit through adaptive co-management: creating and maintaining bridging functions for matching scales in the Kristianstads Vattenrike Biosphere, Sweden. *Ecology and Society* 12, 28.

Ostrom, E., 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325: 419-422.

Pahl-Wostl, C., Tábara, D., Bouwen, R., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Ridder, D., Taillieu, T. (2008) The importance of social learning and culture for sustainable water management. *Ecological Economics* 64: 484-495.

Plummer, R., Armitage, D. (2007) A resilience-based framework for evaluating adaptive co-management: Linking ecology, economy and society. *Ecological Economics* 61: 62-74.

Rist, S., Chidambaranathan, M., Escobar, C., Wiesmann, U., Zimmermann, A. (2007) Moving from sustainable management to sustainable governance of natural resources: The role of social learning processes in rural India, Bolivia and Mali. *Journal of Rural Studies* 23: 23-37.

Ruitenbeek, J., Cartier, C. (2001) *The invisible wand: adaptive co-management as an emergent strategy in complex bio-economic systems*. CIFOR, Bogor, Indonesia.

Organizaciones de cuenca en Cuba y experiencias alcanzadas con los Consejos Nacionales, Territoriales y Específicos de Cuencas Hidrográficas

JORGE MARIO GARCÍA FERNÁNDEZ, AUGUSTO LÓPEZ GONZÁLEZ, UBALDE ABALLÍ, VIVIANA CASTRO ENJAMIO Y ADA ELSA BIENTS PERDOMO
Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Cuba
jorgem@hidro.cu

Resumen El Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas en Cuba, creado en 1997, inició un nuevo estilo de trabajo con la introducción de conceptos y y prácticas de gestión integrada de cuencas, en función de la gestión de los recursos hídricos y la protección del resto de los componentes naturales, que junto al desarrollo económico y social, avanzan hacia el desarrollo sostenible. Con un trabajo continuo y sistemático, el consejo ha alcanzado la madurez, cosa que se refleja en la evolución ambiental de las 10 cuencas de interés nacional y las 51 de interés provincial. Con una visión intersectorial y un marco legal que lo resguarda, el consejo ha fortalecido la institucionalidad en su desempeño. Los Consejos de cuenca, tanto el nacional, como los territoriales y los específicos, planifican anualmente sus actividades, por medio de encuentros y acciones sistemáticas que se identifican a través de 11 subprogramas, con indicadores evaluados cada año que reflejan el trabajo de los actores locales. Entre estas acciones se encuentra la gestión de los recursos hídricos, que incluye las redes de observación del ciclo hidrológico, provisión de agua y saneamiento, planificación del uso del agua, así como el incremento en superficie boscosa, la conservación y mejoramiento de suelos, reducción de carga contaminante, vigilancia y protección de los recursos naturales, las inversiones ambientales en las cuencas y la educación ambiental, entre otras. Durante los últimos años se destacan avances que son reflejados por el Índice simplificado de Gestión de Cuencas (IsGC), herramienta que posibilita una evaluación sintetizada del proceso de intervención que ocurre en cada cuenca año tras año.

Palabras clave institucionalización, gestión; integrada; Cuba; cuencas

1 Antecedentes de las instituciones de cuencas hidrográficas en Cuba

Desde 1959, en Cuba ha habido un progreso gradual en la formación y amplificación de las capacidades nacionales, así como un fortalecimiento en la capacidad institucional y organizativa de las principales instituciones responsables del ambiente. En 1962 se creó el "Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos," como institución líder en la infraestructura hidráulica del país, con objetivos tales como la protección contra inundaciones y la planificación del uso de recursos hídricos. Este nuevo método también abordó conceptos en relación con la gestión de cuencas, pero no con una visión integrada de todos los componentes.

Durante las siguientes décadas se dieron varias acciones importantes en la esfera ambiental, las cuales ya integraban el concepto y la importancia de las cuencas hidrográficas. Entre estas tenemos la formación de la Comisión Nacional para la Protección del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (COMARNA), en 1976, la ley No. 33 para la Protección del Ambiente y el Uso Racional de los Recursos Naturales, dictada en 1981, la modificación del artículo 27 de la Constitución de la República con el fortalecimiento de la integración del ambiente de acuerdo al desarrollo económico y social del país, y la implementación de la ley/ordenanza No. 138, que regula la explotación, conservación y uso racional de los recursos hídricos en las aguas terrestres, en 1993. En ese mismo año se aprobó el Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo, como adaptación de la Agenda 21.

Paralelas a este marco nacional, se desarrollaron diferentes reuniones internacionales y regionales, tales como la Cumbre de la Tierra (en Río de Janeiro, 1992), que contribuyeron netamente

a un entendimiento integral del medio ambiente. Estas son las premisas que precedieron la creación del Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA, 1994).

Las instituciones cubanas antes de la década del 90 trataban a las cuencas con una visión limitada y parcial, siempre relacionada a sus misiones específicas, sin trascender hacia un método más integrado e intersectorial que incluyera la gestión de los recursos naturales, la economía y las actividades sociales.

En abril de 1997, el Comité Ejecutivo de Consejo de Ministros comunicó, en su Acuerdo 3139, la creación del Consejo Nacional de Cuencas como el máximo organismo de coordinación con respecto al planeamiento y gestión de las cuencas en el territorio nacional. Este consejo es presidido por un miembro del Consejo de Ministros.

Unos meses después, (en julio 1997), la ley No. 81, del medio ambiente, fue aprobada. Ella constituye un instrumento jurídico de mayor rango jerárquico, que propició otras ordenanzas, actualmente leyes, resoluciones y normas a favor del medio ambiente. En los artículos 110 y 111 se definen las responsabilidades ambientales y de gestión en las cuencas en Cuba, dando al Consejo Nacional de Cuencas capacidad total para proseguir con la implementación de políticas nacionales en las cuencas.

2 Organismos de cuencas hidrográficas en Cuba: Consejo Nacional de Cuencas

El Consejo Nacional de Cuencas está estructurado de la siguiente manera: un Presidente y un Vicepresidente, un Secretario y miembros permanentes para la ejecución de sus funciones, estructuradas como se indica en la Fig. 1.

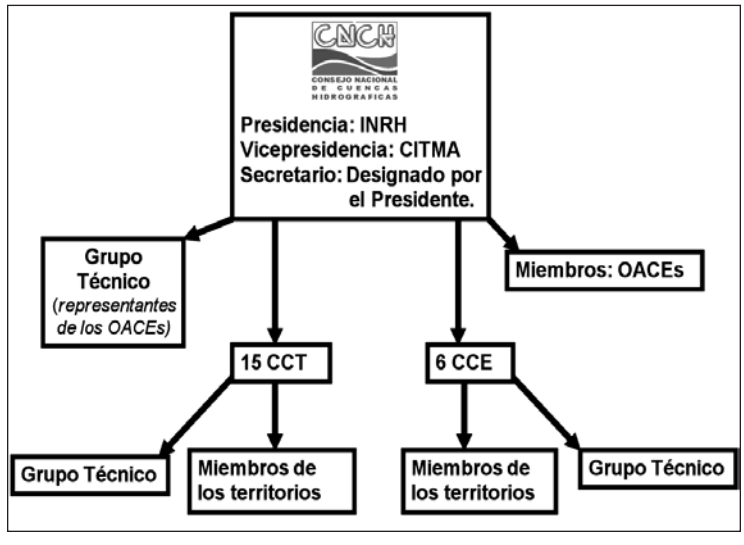


Fig. 1 Organización del Consejo Nacional de Cuencas en Cuba
Fuente: Elaborado por los autores

Una de las primeras acciones desarrolladas por el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH) fue la formación de un Grupo Técnico Nacional, que integró a expertos y especialistas de diferentes organismos e instituciones. Este grupo seleccionó 10 cuencas de interés a nivel nacional, tomando en cuenta la complejidad social y ambiental, el grado de daño a los recursos naturales, y los valores locales. De la misma manera, 51 cuencas provinciales fueron seleccionadas utilizando el mismo enfoque.

Además, a nivel organizativo, 15 consejos de cuencas territoriales y 7 consejos específicos fueron creados, estos últimos vinculados a cuencas compartidas por más de una provincia. Estos organismos constituyen un instrumento técnico del Consejo de Administración del Poder Popular, el gobierno provincial, para controlar la elaboración y la ejecución de programas para la gestión integrada de las cuencas, en estrecha colaboración con el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, y también constituyen un marco para el lanzamiento de nuevas normas y metodologías eficaces en esta materia. Los representantes de los ministerios principales forman parte del Consejo Territorial de Cuenca a nivel provincial.

Estas experiencias acumuladas hasta el 2007 propiciaron la elaboración y aprobación de una nueva regulación relacionada con la gestión de cuencas en Cuba. A través de la resolución 52/2007 del presidente de la CNCH, al igual que las ordenanzas-ley 280 del Consejo de Ministros, en su capítulo 3, se le dio una nueva caracterización y alcance al CNCH.

El organismo de cuencas a nivel nacional, específico, territorial, realiza planificación anual de sus actividades y desarrolla de manera sistemática encuentros y otras actividades (talleres, entrenamiento, inspecciones y giras a objetivos de interés, entre otras). Sus líneas de acción se identifican en 11 subprogramas de acción, que contienen un grupo de indicadores que reflejan el trabajo de actores locales involucrados en el manejo de cuencas hidrográficas. Cada año, estos resultados son evaluados, tomando en cuenta el comportamiento y la tendencia de los subprogramas, y se identifican las principales acciones a llevarse a cabo el siguiente año. Los 11 subprogramas son los siguientes:

a. Inversiones nacionales y locales dedicadas a la protección del medio ambiente en las cuencas
b. Recursos hidrológicos (redes para la observación del ciclo hidrológico, cobertura de la infraestructura de agua potable y de saneamiento)
c. Planeamiento del uso del agua en la cuenca
d. Mejoramiento y conservación del suelo agrícola
e. Aumento en la superficie de bosques
f. Medidas de prevención y combate de incendios forestales
g. Vigilancia conjunta de recursos naturales (protección de recursos naturales)
h. Lucha contra la contaminación y reducción de cargas contaminantes
i. Uso sostenible de la diversidad biológica
j. Educación ambiental y participación comunitaria
k. Ciencia e innovación tecnológica

Cada uno de estos subprogramas se coordina con diferentes organismos de la administración central del estado (OACE), los cuales son miembros del Consejo.

3 Valor agregado de la creación del Consejo Nacional de Cuencas

Desde el año 1997 hasta ahora, el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH) se ha reunido anualmente con el Consejo Ejecutivo del Consejo de Ministros, quien presenta al gobierno central una evaluación del trabajo realizado en dicho año. Simultáneamente se aprueban las líneas de acción del CNCH para el siguiente año. Este proceso también se lleva a cabo anualmente en los consejos de cuencas provinciales y específicos.

Como resultado de todo el trabajo realizado, se pueden distinguir algunos componentes clave de la contribución del Consejo, los cuales se pueden vincular a las políticas nacionales ambientales y a su realización:

- Enfoque de ecosistemas en la gestión ambiental, el cual va más allá de las divisiones administrativas políticas nacionales, provinciales y municipales.

- Integración
- Armonía y coherencia sistemática
- Coordinación entre instituciones
- Descentralización
- Participación

4 Experiencias alcanzadas en la gestión de las cuencas hidrográficas en Cuba

Tras 14 años de trabajo sostenido, el Consejo de Cuencas ha avanzado considerablemente en la evolución ambiental de las cuencas, con especial atención a las 10 cuencas de interés nacional. Algunos ejemplos referidos a los subprogramas de trabajo evidencian una tendencia positiva en el comportamiento de sus indicadores.

- Las observaciones de redes del ciclo hidrológico funcionan de una manera estable y sistemática, con la operación de 411 pluviómetros, 7 estaciones climáticas, 15 estaciones de hidrométricas, 318 estaciones hidrogeológicas, y 502 estaciones pertenecientes a la Red de Observaciones de la Calidad de las Aguas (RedCal). La densidad de los pluviómetros es de 1 por cada 57 km^2, y las de las estaciones de la RedCal es de aproximadamente 1 por cada 50 km^2.
- Las precipitaciones en el país en el año 2010 tuvieron un promedio de 1267,1 mm, equivalente a un 96% del promedio histórico. El mayor valor de la precipitación total fue en la cuenca del Toa, con 1.672 mm, aunque ello solo representa un 66% del promedio histórico. El mayor valor relativo de la precipitación para ese año correspondió a la cuenca de Guantánamo-Guaso (128%) (ver Tabla 1).

Tabla 1 Comportamiento pluvial anual en las cuencas hidrográficas de interés nacional.

Cuenca	Promedio histórico de lluvia (en mm)	Promedio de lluvias, año 2010 (en mm)	Porcentaje
Cuyaguateje	1475,0	1265,1	86
Almendares-Vento	1514,0	1302,3	86
Ariguanabo	1446,0	1311,0	91
Ciénaga de Zapata	1404,0	1156,6	82
Hanabanilla	1986,0	1366,9	69
Zaza	1427,0	1506,3	106
Cauto	1112,0	1184,5	107
Mayarí	1435,0	1241,8	87
Guantánamo-Guaso	1027,0	1315,0	128
Toa	2518,0	1672,3	66

Fuente: Dirección de cuencas hidrológicas, INRH.

- La cobertura de agua potable para la población en las cuencas de interés nacional es de alrededor de un 84,8% con conexión domiciliaria o de fácil acceso (es decir, la fuente se encuentra a una distancia inferior a los 300 metros).
- La cobertura de alcantarillado es de alrededor de 89,0%, incluyendo sistemas de alcantarillado grandes y pequeños, así como letrinas.
- El uso de las aguas en relación con el total disponible para su utilización en la infraestructura hidráulica fue de 37,8%. Durante el 2010, el mayor usuario de agua en las cuencas de interés nacional fue la población (agua potable) con un 40% del total, seguido por los usos agrícolas (35%), energía hidráulica (12%), otros suministros (8%) y usos del caudal ecológico (5%) .

- El Programa de conservación y mejora de los suelos agrícolas ha mantenido un crecimiento discreto cada año. Al cierre del 2010, una superficie de 38.840 hectáreas había sido mejorada, con un avance en las cuencas del Cuyaguateje y Zaza.
- Se crearon 17 polígonos demostrativos nacionales para la conservación y el mejoramiento de suelos y bosques, con el objetivo de aplicar medidas prácticas de mitigación y adaptación al cambio climático. Ocho de estos se encuentran en cuencas de interés nacional. Además, se establecieron 67 áreas demostrativas, que constituyen un lugar indispensable para la formación y la divulgación de los resultados a la gestión integrada de las cuencas.
- El Índice de Boscosidad Potencial (IBP) es de aproximadamente 31,6%, y de acuerdo a la dinámica de los bosques en el reciente cierre de 2010, el Índice de Boscosidad Actual (IBA) es de alrededor de 25,0%, el cual se ha alcanzado mediante la ejecución continua de planes de reforestación durante años anteriores. Cabe destacar la alta cobertura obtenida utilizando el Índice Normalizado (IBA / IBP), en las cuencas de Toa (97,9%), Hanabanilla (94,4%) y Guantánamo - Guaso (94,2%). Entre las cuencas que aún tienen capacidad para reforestar, podemos mencionar las de Cauto (581,9 km^2), Ciénaga de Zapata (305,0 km^2) y Mayarí (208,06 km^2).
- En el 2010, después de una evaluación completa, las principales fuentes contaminantes identificadas en las cuencas hidrográficas de interés nacional generaron 82.469 toneladas de DBO_5 / año, con un receptor de eliminación de 25.182 toneladas de DBO_5 / año. Desde el año 2000, el Consejo ha trabajado en un programa que ha mantenido una reducción anual general, excepto en 3 ocasiones, en donde se ha incrementado debido a la pérdida de eficiencia de los sistemas de tratamiento asociados a la actividad porcina. Se puede observar este comportamiento en la Tabla 2.

Tabla 2 Contaminación de origen orgánico en las cuencas de interés nacional.

Año	% de reducción o aumento (+) de carga contaminante	
	País	CIN
2001	10,9	8,4
2002	10,8	(+) 0,92
2003	9,0	8,4
2004	3,6	3,5
2005	3,7	11,7
2006	(+) 1,4	3,8
2007	(+) 10,7	(+) 12,8
2008	0,5	2,2
2009	2,6	3,7
2010	0,8	(+) 0,1

Fuente: Informe 2010 del CNCH.

Conclusiones

En la actualidad, el CNCH es reconocido por su excelencia para conducir los procesos de planificación, uso y protección del agua. La creación de consejos de este tipo puede ser una respuesta a los problemas que se manifiestan hoy en día en muchos países, y puede representar una importante acción de adaptación a los impactos del cambio climático.

La experiencia cubana a partir de 1997 continúa con un avance significativo en sus actividades y ha alcanzado la madurez, puesto que se han incrementado y diversificado las actividades desarrolladas

por sus grupos técnicos. A través de sus 11 programas de trabajo (subprogramas) y la aplicación del Índice Simplificado de Gestión de Cuencas (ISGC), se evidencia una evolución favorable y una gestión sostenible de sus recursos.

REFERENCIAS

Gaceta Oficial de la República de Cuba. Ed. Extraordinaria. (1997) *Ley 81 de Medio Ambiente, 11 julio 1997. Año XCV. No. 7*. La Habana.

CITMA. (2006-2010) *Estrategia Ambiental Nacional*.

García, Jorge M. (2002) Algunas reflexiones sobre el desarrollo de la gestión ambiental cubana. *Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo*, Año 2.

Instituto de Suelos, MINAG. (2001) *Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos*. La Habana, AGROINFOR

Oficina Nacional de Estadísticas, MEP. (2009) *Medio Ambiente en Cifras*. La Habana, ONE.

PNUMA-CITMA, GEO Cuba. (2009) *Evaluación del medio ambiente cubano.* La Habana.

Secretaría Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas. (2006 a 2010) *Informes de Balances anuales del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas al Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros*. La Habana.

Un modelo conceptual para la aplicación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos Transfronterizos

J. GANOULIS Y Ch. SKOULIKARIS
Departamento de Ingeniería Civil, Aristotle University of Thessaloniki, Grecia
iganouli@civil.auth.gr

Resumen La implementación de la gestión integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en las distintas cuencas fluviales es un reto principalmente por los diversos tipos de fronteras, no sólo entre países, en cuyo caso las aguas compartidas son transfronterizas, sino también a nivel nacional, donde las fronteras existen entre los diferentes grupos de interés, las administraciones regionales, instituciones, disciplinas científicas y profesionales. Un ejemplo de esta última es la "frontera" entre los científicos y los tomadores de decisiones. El derrumbamiento de esta barrera es el principal objetivo del programa mundial HELP de la UNESCO. En el presente documento, un modelo conceptual se formula con el fin de facilitar la implementación de la GIRH en las aguas transfronterizas. El modelo se basa en la consulta interactiva con todos los interesados y socios que participan en el proceso de la GIRH transfronterizos a nivel de cuencas. El modelo conceptual multidisciplinario se compone de siete pasos, el primero y principal es (1) la consulta con los grupos de interés. Los otros seis pasos, que interactúan constantemente con el primero, son los siguientes: (2) Análisis de Diagnóstico Transfronterizo (ADT), (3) recopilación e intercambio de datos, (4) Plan Común de Acción Estratégica (CSAP), (5) Evaluación Hidrológica y Ambiental, (6) Análisis de escenarios, incluido el cambio climático, y (7) Aplicación. Estas medidas se aplicaron y se explican en el estudio del caso Mesta/Nestos.

Palabras clave aguas transfronterizas; gestión integral; modelo conceptual

Introducción

Diferentes tipos de fronteras y barreras separan no solo a países a nivel nacional, sino también a las ciencias y aplicaciones, a los diferentes grupos de profesionales, investigadores y políticos, y a las diferentes instituciones y varios administradores regionales. Un ejemplo destacado de la barrera en la gestión de recursos hídricos es el paradigma cerrado entre los científicos y los tomadores de decisiones, que crea mayores dificultades para la implementación del concepto de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

Con el fin de abordar este problema, la UNESCO inició, en el marco del Programa Hidrológico Internacional (PHI), el programa HELP, que tiene como objetivo reducir las brechas entre la Hidrología, el Ambiente, la Vida y las Políticas (HELP por sus siglas en inglés).

Cuando aguas superficiales, tales como las de los ríos y lagos o acuíferos subterráneos cruzan las fronteras de diferentes países, la barrera política entre los mismos es el principal desafío para la aplicación del engoque de la GIRH. En este caso, el término "aguas transfronterizas" se usa como sinónimo de "Aguas Internacionalmente Compartidas", de acuerdo con la terminología utilizada por la UNESCO en sus iniciativas internacionales hidrológicas, tales como los programas UNESCO/ISARM (Gestión de Recursos de Acuíferos Transnacionales Compartidos) y UNESCO/*PCCP* (Del *Conflicto Potencial* a la *Cooperación Potencial*).

El término se considera una mejor alternativa a otras expresiones similares, tales como "aguas internacionales", "aguas multinacionales" o "aguas territoriales", y evita malentendidos debido a las sensibilidades políticas sobre la soberanía nacional en las regiones situadas cerca de las fronteras.

De acuerdo con la experiencia previa adquirida por la Cátedra UNESCO/INWEB (Red Internacional de Centros de Agua y Medio Ambiente para los Balcanes), hay muchos obstáculos que dificultan la aplicación efectiva del enfoque de la GIRH en la gestión de aguas compartidas internacionalmente, tales como:

- Diferencias en el uso normas y especificaciones técnicas para la recopilación y el intercambio de información
- Falta de armonización en los enfoques metodológicos que involucran el modelado conceptual y analítico de los procesos hidrológicos, ambientales y socio-económicos
- Diferencias en los niveles socio-económicos y culturales entre los países ribereños
- Falta de confianza e intereses mutuos, objetivos en conflicto y prioridades diferentes entre los países, en relación con su historia, soberanía y posibles reivindicaciones territoriales
- Falta de voluntad política

En la literatura (UN WWDR, 2006; 2009; Wolf, *et al*., 1999; GWP, 2000), publicaciones (Ganoulis, *et al*., 1996; 2000; 2006; 2008) y en un recientemente publicado libro (Ganoulis, *et al*., 2011) se han sugerido diferentes modelos de actividades colaborativas para la Gestión de Recursos Hídricos Transfronterizos. El enfoque usado en estos modelos varía, dependiendo de la disciplina científica o comunidad profesional que ha desarrollado el modelo.

Para los ingenieros, hidrólogos, hidrogeólogos o profesionales ambientales, el énfasis está en la modelación ecológica y física de los hidro-sistemas transfronterizos en los siguientes términos:

a. Delineamiento de las fronteras naturales (cuencas hidrológicas para ríos y lagos transfronterizos, o fronteras hidrogeológicas para acuíferos subterráneos)
b. Análisis de la relación entre variables físicas y ecológicas tales como precipitación, caudal del río, aporte contaminante, calidad del agua, biodiversidad o recarga del agua subterránea
c. Sugerencias de medidas estructurales y no-estructurales para obtener soluciones y mejorar la Gestión de Recursos Hídricos Transfronterizos

Estos modelos, matemáticos o conceptuales, son más o menos precisos, sujetos a la disponibilidad y precisión de información, y a varias suposiciones y simplificaciones en la modelación. Los mismos son útiles para comprender cómo los sistemas físicos y ecológicos transfronterizos se comportan bajo aportes naturales y antropogénicos en términos de calidad de agua y de impactos ambientales.

Para los abogados y científicos sociales (geógrafos, economistas, sociólogos), el énfasis está en factores humanos, los cuales pueden ser muy complejos y difíciles de analizar o predecir, tales como cooperación institucional, participación de interesados, y estrategias de negociación. En el caso de los abogados se enfatiza en la regulación de provisiones y deberes de los países ribereños en términos de acceso, utilización, protección, preservación y gestión de aguas transfronterizas. La codificación de dichas normas legales es bastante útil para la comunidad internacional, aunque puede que este proceso sea algo general y que no cubra todos los casos específicos.

El mayor desafío es lograr que las diferentes administraciones nacionales convengan en implementar reglas internacionales a nivel nacional, y que al mismo tiempo coordinen sus actividades con países ribereños a través de acuerdos colaborativos bilaterales o regionales. Este desafío se puede enfrentar concientizando al público y a los interesados en procesos participatorios que involucren instituciones nacionales, socios académicos y organizaciones internacionales.

En la actualidad, todos los problemas y enfoques anteriormente mencionados coexisten y están interrelacionados. Para lograr una Gestión efectiva de Recursos Hídricos Transfronterizos, estos modelos, tanto descriptivos como prescriptivos, deben integrarse. Hay dos estrategias principales para lograr dicha integración: (a) la creación de capacidades y entrenamiento en gestión de recursos hídricos transfronterizos, y (b) el análisis de un marco general de resolución de conflictos, basado en cómo los países ribereños pueden compartir beneficios y riesgos. Ambas estrategias son apoyadas por los programas PCCP e ISARM de la UNESCO, y se detallan en Ganoulis, *et al*., 2011.

El Programa Help en cuencas fluviales transfronterizas

El programa UNESCO/HELP estableció una red global de cuencas experimentales con el fin de intercambiar experiencias en cómo aplicar el enfoque de la GIRH mediante la vinculación de la hidrología con asuntos de políticas. Un cierto número de cuencas fluviales "HELP" son transfronterizas, compartidas ya sea entre (1) diferentes países ribereños, (2) entre países que han adoptado el mismo sistema legal, o (3) entre estados pertenecientes a un sistema federal unificado. Algunos de los ejemplos representativos de cuencas fluviales "HELP" transfronterizas son las siguientes:

- La Cuenca de San Pedro, compartida por México y Estados Unidos (dos países soberanos)
- La Cuenca de los ríos Mesta/Nestos, compartida por Bulgaria y Grecia (dos países pertenecientes a la Unión Europea e implementando directivas comunes)
- La cuenca de Murray-Darling en Australia, compartida por cuatro estados federales del Territorio de la Capital Australiana

Los acuerdos bilaterales y multilaterales en la gestión de recursos hídricos de ríos, lagos y acuíferos transfronterizos son herramientas importantes que refuerzan la cooperación efectiva, involucran compromiso político e implementan planes conjuntos de gestión de aguas. Desarrollar acuerdos multilaterales regionales tiene diferentes grados de dificultad, dependiendo del estado legal de los países ribereños. Por ejemplo, en países centralizados independientes, las negociaciones y asuntos legales para desarrollar acuerdos se pueden llevar a cabo con mayor facilidad. En países pertenecientes a un sistema legal unificado para la gestión de aguas, como el caso de los países de la Unión Europea, la situación es facilitada por la aplicación de directivas comunes de agua (por ejemplo, la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea). En estados federales como Estados Unidos, Australia y Canadá, desarrollar dichos acuerdos puede ser más difícil, ya que la responsabilidad legal del agua es provista en la constitución de manera individual para cada estado.

Con el fin de hacer frente a la complejidad de los problemas del mundo real, en donde no se hace ninguna distinción entre los diferentes procesos físicos y socio-económicos inter-dependientes, existe la necesidad de integración de los diversos enfoques descritos anteriormente. Este proceso de integración podría facilitarse de dos maneras. En primer lugar, a través de la educación y la capacitación, donde programas especiales de formación pueden mostrar cómo los enfoques multidisciplinarios pueden ser coordinados a fin de lograr una visión integrada de un problema y resolverlo con eficacia en el mundo real. En segundo lugar, teniendo en cuenta un marco general de análisis de riesgos en la resolución de conflictos, donde los riesgos y los beneficios puedan ser compartidos entre los países ribereños, y en donde soluciones "ganar-ganar" para los conflictos transfronterizos se puedan lograr (Ganoulis, 2009). Ambos procesos se basan en programas específicos desarrollados por la UNESCO (Ganoulis, *et al*., 2011).

Un modelo de colaboración para la Gestión de Recursos Hídricos Transfronterizos basado en las diversas contribuciones al libro Ganoulis, *et al*., 2011, se ilustra en la Fig. 1. Este sistema utiliza los siguientes siete pasos, y puede ser adaptado a cualquier estudio de caso particular de aguas transfronterizas.

1 Colaboración y c*onsulta a los interesados*, temas sociales, acuerdos legales e institucionales: este paso debe interactuar con todos los demás pasos a continuación
2 *Definición del problema*: Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT)
3 Estar de acuerdo en la recopilación de datos, monitoreo común e *intercambio de datos*
4 Desarrollar una visión común y un *Plan Común de Acción Estratégica* (CSAP en inglés)
5 Evaluación física y ambiental y *modelación*
6 *Análisis de escenarios* y Sistemas de Soporte a la toma de Decisiones (DSS en inglés)
7 Transferencia de Modelos y DSS a las partes interesadas, *Aplicación*

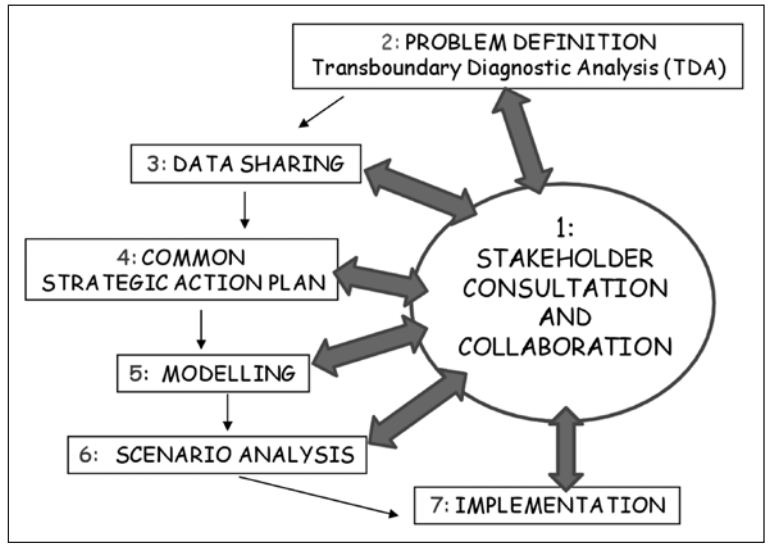


Fig. 1 Un modelo conceptual para la gestión efectiva de recursos hídricos transfronterizos.

REFERENCIAS

Ganoulis, J., Duckstein, L., Literathy, P. y Bogardi, I. (eds). (1996) *Transboundary Water Resources Management: Institutional and Engineering Approaches*. NATO ASI SERIES, Partnership Sub-Series 2: Environment, Vol.7, Springer-Verlag, Heidelberg, 478 p.

Ganoulis, J., Murphy, I. L. y Brilly, M. (eds). (2000) *Transboundary Water Resources in the Balkans: Initiating a Sustainable Co-operative Network*. NATO ASI SERIES, Partnership Sub-Series 2: Environmental Security, Vol. 47, Kluwer Academic, Dordrecht, Boston, Londres, 254 p.

Ganoulis, J. (2006) Water Resources Management and Environmental Security in Mediterranean Transboundary River Basins. In: *Environmental Security and Environmental Management: The Role of Risk Assessment*, (eds B. Morel & I. Linkov), Springer, pp. 49-58.

Ganoulis, J., Skoulikaris, H., y Monget, J.M. (2008) Involving Stakeholders in Transboundary Water Resources Management: The Mesta/Nestos "HELP" Basin. *Water SA Journal* 34 (4) (Edición especial HELP): 461-467.

Ganoulis, J. (2009) *Risk Analysis of Water Pollution*, (2nd Edition) WILEY-VCH, Weinheim, 311p.

Ganoulis, J., Aureli, A. y Fried, J. (eds). (2011) *Transboundary Water Resources Management: A Multidisciplinary Approach*, WILEY-VCH, Weinheim, 382 p.

GWP. (2000) *Integrated Water Resources Management*. GWP Technical Committee Background Paper No 4, Stockholm, Suecia. http://www.gwpforum.org/gwp/library/Tacno4.pdf.

UN WWDR. (2006) *Water: a shared responsibility*, UNESCO Publishing, Paris.
http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/.

UN WWDR. (2009) *Water in a changing world*, UNESCO Publishing, París. http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/.

Wolf, A., Natharias, J., Danielson, J., Ward, B. y Pender, J. (1999) International River Basins of the World. *International Journal of Water Resources Development* 15 (4): 387-427.

De la capacitación a la acción en campo

MARIAN MUSTE[1], JENNIFER FILIPIAK[2] Y CHARLES SPITZACK[3]

1 IIHR- Hidrociencia e Ingeniería, Universidad de Iowa, EEUU
marian-muste@uiowa.edu
2 The Nature Conservancy, Capitulo de Iowa, EEUU
3 US Army Corps of Engineers, Distrito de Rock Island, EEUU

Resumen Las continuas ocurrencias de inundaciones destructivas en Iowa han provocado una reacción natural de los organismos y las comunidades para colaborar a través de las tradicionales fronteras políticas, geográficas y sociales, y eliminar las brechas entre los tomadores de decisiones, científicos y comunidades. Actualmente, las instituciones y comunidades de Iowa están replanteando su relación con los ríos y sus cuencas hidrográficas, adoptando nuevas formas de gestionar los recursos hídricos, con la mitigación del riesgo de inundaciones como una prioridad. El primer esfuerzo de capacitación a lo largo de estas líneas fue la designación de la Cuenca Iowa-Cedar como Cuenca de la UNESCO-HELP en 2009. La creación de la Cuenca HELP fue seguida poco después por la formación del Equipo Interinstitucional de Coordinación de la Cuenca Iowa-Cedar, una asociación de diecinueve agencias que se centró en la Cuenca de Iowa-Cedar, utilizándola como un modelo para la implementación eficaz de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en Iowa y en la Cuenca Superior del Río Mississippi. En la primavera de 2010, un cuerpo de base comunitaria enfocado en las inundaciones fue establecido: La Coalición de la Cuenca del Río Cedar. Su objetivo es la organización y la defensa de las prácticas y políticas dirigidas hacia soluciones no-estructuradas, a escala de la cuenca hidrográfica, para mitigar el riesgo de futuras inundaciones y mejorar la calidad del agua. Desde su creación, la Cuenca Iowa Cedar UNESCO-HELP está jugando el "papel de traductor" entre los científicos, los administradores y los intereses de la comunidad para la implementación eficaz y eficiente de la GIRH. Este documento revisa los esfuerzos iniciales de capacitación llevados a cabo en la Cuenca HELP Iowa-Cedar, y las actividades posteriores en campo, para lograr el bienestar de la cuenca en que vivimos. Se espera que compartiendo estas experiencias se logren obtener ideas útiles para manejar Cuencas HELP antiguas, nuevas, y potenciales en todo el mundo.

Palabras clave inundaciones; Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH); sistema de apoyo a las decisiones

1 Antecedentes

La Cuenca del Río Iowa-Cedar (ICB, por sus siglas en inglés), es una cuenca hidrográfica del afluente principal del río Misisipí, y forma parte de la Cuenca Superior del Río Misisipí (UMRB, por sus siglas en inglés) la cual está dominada por la agricultura. Los suelos fértiles y las condiciones climáticas existentes en la UMRB convierten a esta en una de las regiones agrícolas más productivas del mundo (Filipiak, *et al*., 2011). El uso actual del suelo es significativamente diferente al del bosque y al de la pradera que precedió la colonización europea. La cubierta actual del suelo y su uso actual han dado lugar a una hidrología significativamente modificada, con consecuencias directas sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, la erosión y la sedimentación, la pérdida y fragmentación de hábitats naturales, que afectan aún más la diversidad y abundancia de plantas y animales, y han facilitado la introducción de especies exóticas. El efecto sobre el sistema de ríos y sus cuencas hidrográficas ha sido significativo, con inundaciones y sequías, acontecimientos que ocurren en tasas cada vez más altas y en múltiples localidades. El avance del cambio climático predice la probabilidad de nuevos retos en el futuro. Lograr la sostenibilidad de los usos económicos y la integridad ecológica de la UMRB requiere no solo abordar el tema del sistema y la llanura de inundación en forma directa, sino también las acciones compatibles y de apoyo en las cuencas hidrográficas tributarias. Se requiere de una gestión a través de varias entidades, en múltiples escalas, para múltiples propósitos, mediante la aplicación de los marcos generales y de integración, tales como la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GWP, 2004).

Las 12.600 millas cuadradas de la ICB se encuentran en los estados del Medio Oeste, Minnesota e Iowa, como se ilustra en la Fig. 1. El uso actual del suelo y la cubierta vegetal predominante es la agricultura, con aproximadamente un 93% de la superficie total siendo tierras de cultivo o pastizales. La tierra es en gran parte de propiedad privada. Los principales cultivos están dominados por el maíz y la soja, con un poco de heno y avena. La superficie restante se compone de alrededor de un 4% de bosques, alrededor de un 2% de tierra urbana, y alrededor de 1% de agua y humedales. El hábitat y la hidrología de la mayor parte de la tierra en esta región ha sido alterada para ajustarse a los usos del suelo actual, que incluye la urbanización y la agricultura intensiva (Filipiak *et al*., 2011).

Fig. 1 Ubicación de la Cuenca del Río Iowa-Cedar.

Fig. 2 Ciudad de Iowa durante la Inundación del 2008. Fuente: http://www.peeplo.com

Los efectos de la hidrología alterada, fuera de los eventos extremos de inundaciones, son evidentes en la ICB. El tamaño y la forma del cauce de los arroyos se rige por el régimen de flujo. No se trata solo de demasiada o muy poco agua, sino de resultados hidrológicos alterados en hábitats alterados y propulsados por los flujos. Por lo tanto, con el aumento de la cantidad total de agua que se mueve a través del sistema, así como la magnitud de la inundación típica de cada 1-2 años, el ancho del canal del arroyo, así como la amplitud de su patrón de meandros, probablemente aumente. La ampliación del canal tiene el efecto de aumentar el transporte de sedimentos y arrastre de fondo, mucho de lo cual proviene de los márgenes u orillas de los arroyos (Skopec, 2010). Esto se evidencia en los canales de incisión, que socavan y se extienden más allá de los límites típicos de la pradera de inundación, para dar cabida a mayores flujos. Existe evidencia de que gran parte del incremento de los flujos está siendo impulsado por el aumento de las precipitaciones, pero esto no lo explica todo. Una serie de análisis nacionales y regionales han demostrado que en Iowa y en muchas partes del Medio Oeste se ha visto un aumento de las precipitaciones y de la frecuencia de eventos de lluvias intensas (que se prevé que empeorará según varios escenarios del modelo de cambio climático, los cuales han sido mayormente aceptados). Varios estudios pertinentes a Iowa han analizado el aumento del flujo de la corriente en relación con la precipitación, y han concluido que el aumento de los flujos de la corriente es desproporcionadamente mayor que el aumento de las precipitaciones (Novotny y Stefan 2003, Juckem *et al*. 2008).

Los impactos de la hidrología alterada van más allá de las contribuciones a las grandes inundaciones. El drenaje de las tierras urbanas y agrícolas a través de drenajes subterráneos y zanjas también hace que las corrientes cambien. Para activar la producción de cultivos en estos suelos una vez saturados de agua, miles de kilómetros de drenajes subterráneos se instalaron en los campos de

cultivo, y se desarrollaron y ampliaron las redes de drenaje superficial a través de la construcción de zanjas de drenaje, así como la profundización y rectificación de los cauces naturales. El zanjeo y la canalización de los arroyos afecta a la hidrología y el movimiento y transporte de los sedimentos por los arroyos. Existen otras causas, menos intuitivas pero a mayor escala, para la hidrología alterada en la ICB: un cambio en la cobertura de la tierra desde mediados del siglo XX, y la pérdida de la materia orgánica del suelo. La estructura actual del suelo absorbe aproximadamente la mitad de las precipitaciones que en el pasado. Las hectáreas dedicadas al maíz son más o menos las mismas que en 1940, sin embargo, en los dos tercios del extremo norte del Estado, la soja desplazó los pequeños cultivos de granos (principalmente la avena, heno y los pastos utilizados para caballos y ganado vacuno). Esta pérdida de cultivos perennes en el paisaje cambia los patrones de la evapotranspiración y deja el suelo expuesto durante las lluvias de primavera. Con un paisaje dominado por cultivos en hileras, la evapotranspiración es ahora más intensa cuando el maíz y los frijoles están más activos, a finales del verano. En la primavera, las áreas con hileras de cultivo no utilizan el agua o los nutrientes, mientras que los pastos, los árboles y la hierba, sí lo hacen. El aumento en los flujos que se produce de manera desproporcionada a principios de la primavera, antes que se establezcan las filas de sembradíos, tiene implicaciones en la pérdida de nitrato. Las observaciones de los caudales mensuales de medidores o manómetros de antes de la década de 1970, en comparación con los medidores después de la década de 1970, indican un cambio temporal hacia el aumento de los flujos en marzo y abril. La demanda creciente de granos está generando cambios continuos hacia mayores drenajes y un mayor énfasis en los cultivos en hileras, tales como el maíz y los frijoles. La manera de cómo el agua se mueve a través del paisaje está cambiando, con efectos negativos sobre el medio ambiente, la salud humana, y nuestra economía local. La consideración anterior demuestra claramente que la sostenibilidad del tejido social y económico de la región, y la integridad ecológica de la cuenca, están en riesgo. Las soluciones sostenibles deben ser en una amplia escala, en la escala de la causa –en toda la cuenca– y deben acomodar múltiples intereses relacionados con el agua.

2 Capacitación

Es obvio, a partir de las consideraciones anteriores, que sólo un enfoque integrado de cuencas hidrográficas puede proporcionar una solución sostenible para el futuro de la ICB. Fue la persistencia de las inundaciones destructivas en Iowa, sin embargo, lo que provocó la reacción de los organismos y las comunidades para trabajar a través de las fronteras políticas, geográficas y sociales tradicionales, con el fin de mejorar el bienestar de la cuenca. Como una cuenca hidrográfica que enfrenta una casi certeza de más inundaciones masivas, las partes interesadas afectadas buscan soluciones a largo plazo, a través de un enfoque de cuencas. Las instituciones y las comunidades de Iowa están replanteando su relación con los ríos y sus cuencas hidrográficas, y adoptando nuevas formas de gestionar los recursos hídricos, con la mitigación del riesgo de inundaciones como una prioridad, y con un enfoque de toda la cuenca, con la GIRH como marco principal guía.

UNESCO-HELP: El primer esfuerzo de creación de capacidades a lo largo de estas líneas fue la designación de la Cuenca Iowa-Cedar como una Cuenca UNESCO-HELP en marzo de 2009. La cuenca Iowa-Cedar HELP es la adición más reciente en la red mundial de cuencas HELP, y la primera en el Medio Oeste de los EE.UU. La iniciativa Iowa HELP se centra en abordar el principal "bloqueo de paradigma" que es un obstáculo en la implementación de la GIRH: la brecha entre los tomadores de decisiones interesados en los escenarios de la tierra y el agua, y los científicos interesados en mejorar la comprensión de los procesos de las cuencas hidrográficas. La primera acción de importancia organizada por la cuenca Iowa HELP fue un taller de capacitación impartido en octubre de 2009. En él se discutieron estrategias para iniciar la asociación interinstitucional, y una agenda de acción común.

El enfoque inicial de la Cuenca Iowa-Cedar HELP es la reducción sistemática de las inundaciones. Se obtuvo un consenso sobre la necesidad de desarrollar un Sistema de Datos e Información de Cuenca Hidrográfica, para integrar los datos de todos los socios en una plataforma común (http://iowadis.org). El taller de ecapacitación proporciona una experiencia práctica ("hands-on") para el establecimiento de servicios de datos hídricos utilizando tecnologías avanzadas de almacenamiento de datos. El Consorcio para la Promoción de la Ciencia Hidrológica, Inc. (financiado por la Fundación Nacional para la Ciencia de los EE.UU.) ofreció la base técnica. Más de setenta participantes procedentes de 18 agencias federales, estatales y locales, ONGs y universidades, asistieron a la reunión plenaria. Los esfuerzos patrocinados por Iowa HELP incluyeron la participación en talleres de UNESCO-HELP (Portland, Oregon - mayo de 2010; Lodz, Polonia - Septiembre de 2010). La exposición a otras experiencias de cuencas HELP fue muy valiosa para nosotros, y las lecciones aprendidas de los talleres HELP se están aplicando a todos nuestros esfuerzos.

Coordinación y Colaboración Interinstitucional: En el otoño de 2009, tras la designación de la ICB como una cuenca HELP, el Equipo de Coordinación Interinstitucional de la Cuenca Iowa-Cedar (ICWICT, por sus siglas en inglés) se formó y se ha convertido en el cuerpo principal de acción colaborativa (http://iowacedarbasin.org). El ICWICT involucra a entidades de gestión federal y local, instituciones de investigación y comunidades de partes interesadas (ver Fig. 3).

Fig. 3 Socios actuales en el Equipo de Coordinación Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica Iowa-Cedar.

El rol del Equipo Interinstitucional liderado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. y el Departamento de Recursos Naturales de Iowa es abordar los problemas de recursos hídricos y las oportunidades en la cuenca, con el interés de incrementar el valor social y económico, el aumento de la integridad ecológica y la reducción del riesgo. La actual prioridad de acción del Equipo Interinstitucional es la mitigación de las inundaciones utilizando los conceptos de GIRH. Incluso en su corto período de existencia, el ICWICT ha demostrado efectividad en la formulación de un proceso de gestión de cuencas, haciendo un inventario de la infraestructura y experiencia de cada socio individual, desarrollando una estrategia integrada para una acción colaborativa de mitigación de inundaciones basada en el lugar, llevando a cabo talleres de "Visión a la Acción" basados en la comunidad, para crear una visión compartida para las cuencas hidrográficas locales, y atraer y alinear recursos. El Equipo Interinstitucional se reúne cada dos meses y ha creado varios grupos de trabajo para el desarrollo de herramientas de modelado integrado y planes de cuenca hidrográfica, y para la participación de los funcionarios públicos, las partes interesadas y el público.

Movimiento Comunitario de Gestión de Cuencas Hidrográficas: En la primavera de 2010, un movimiento comunitario nuevo fue creado en la Cuenca del Río Cedar, enfocado en las inundaciones: La Coalición de la Cuenca Hidrográfica del Río Cedar (CRWC, por sus siglas en inglés). Este grupo impulsado por la comunidad se formó con el propósito de organizar y promover prácticas y políticas (federales, estatales y locales) dirigidas a soluciones no-estructuradas, a una escala de cuenca hidrográfica, para mitigar el riesgo de inundaciones futuras y mejorar la calidad del agua (http://iowacedarbasin.org/cedar). Los miembros del Equipo Interinstitucional están estrechamente relacionadas con la CRWC

–vemos este cuerpo como nuestro medio principal para llegar a socios no-tradicionales y a la comunidad en general. Actualmente estamos enfocados en ayudar a que este grupo desarrolle un fuerte liderazgo y que reclute una membresía diversa a través de la interface urbana y rural.

Participación Académica: La ICB ha desempeñado el papel de ente atractor de las actividades de los científicos en las universidades estatales. Por ejemplo, un nuevo premio de la Fundación Nacional de Ciencias también se centrará en la ICB para lograr una mejor comprensión de los procesos que vinculan, a escala mundial, el clima y los conductores socioeconómicos a respuestas en una escala regional, en la toma de decisiones del uso de la tierra, la calidad del agua, y la cantidad de agua. El estudio se sitúa en el contexto de la ciencia de la sostenibilidad, con especial énfasis en cómo los seres humanos pueden adaptarse mejor de una manera sostenible a las condiciones climáticas, socioeconómicas y políticas que están cambiando en múltiples escalas espacio-temporales. La gran pregunta de interés se refiere a las compensaciones y las relaciones que existen entre las medidas tradicionales de optimización (por ejemplo, la maximización de la calidad ambiental y rentabilidad económica) y las medidas de flexibilidad, adaptabilidad y sostenibilidad.

Asociaciones de Cuencas Transfronterizas: Se han establecido asociaciones con entidades fuera de la cuenca para la asimilación de los avances en las áreas de interés: servicios de ecosistemas (Earth Economics, American Rivers), gestión integrada de inundaciones (Organización Meteorológica Mundial), observaciones y pronósticos del río/lluvia (Consorcio de Ciencia y Servicio Integrado de Recursos Hídricos de la NOAA/USGS/USACE).

3 Acción en campo

El primer esfuerzo de colaboración en campo que une los recursos y la experiencia de la gestión, el público y el mundo académico, es el estudio del Indian Creek, designado como una Cuenca para el Aprendizaje hacia una acción cooperativa (ver Tabla 1). El subcomité técnico del ICWICT está desarrollando y probando un protocolo integrado de modelaje para el análisis de escenarios de cuenca hidrográfica (uso diferente de la tierra, cobertura del suelo, condiciones climáticas y acciones de gestión) aplicado al Indian Creek, a través de una continua interacción con las otras partes interesadas.

Tabla 1 Hoja de Ruta para el Estudio del Indian Creek

Paso	Descripción
1	Llevar a cabo actividades de divulgación (sesiones de visionado, grupos focales, etc.) para determinar la escala HUC 8 de "valores locales" de las partes interesadas. Formar grupo(s) de partes interesadas para la comunicación a lo largo de la fase de planificación.
2	Aplicar escenarios alternativos desarrollados a través de una subvención de la EPA para la Cuenca Superior del Río Mississippi: a) Maximizar los Productos Básicos, b) Calidad del Agua, c) Diversidad de Hábitats
3	Introducir escenarios de uso del suelo en el modelo de la Herramienta de Análisis de Suelo y Agua (SWAT, por sus siglas en inglés) para que el CR compare la hidrología y la calidad del agua en lugares designados en el cauce principal del río. El modelo se desarrolla por el Centro de Ciencias Hídricas de Iowa, del USGS.
4	Crear un repositorio central para mostrar intercambios ambientales, económicos y sociales, utilizando los escenarios anteriores. Mapas de inundación basados en las etapas de inundación del Servicio Nacional de Meteorología y datos DEM en conjunto con la evaluación de la vulnerabilidad, permitirán estimar el riesgo de inundación, para que se comunique posteriormente al grupo(s) de partes interesadas y al público.

5	Volver a comprometer a las partes interesadas para obtener información sobre los resultados del modelo de escenarios alternativos de uso del suelo (en términos de cantidad y calidad del agua, salud del ecosistema, agricultura, recreación, etc.) Obtener retroalimentación de las partes interesadas sobre las medidas de reducción de la escorrentía y la detención que probablemente se apliquen (por ejemplo; humedales, franjas filtrantes, etc.)
6	Los resultados del # 5 se introducen en nuevos escenarios modelados con SWAT y Análisis Hidrológico de la Superficie Subterránea Cuadriculada (GSSHA, por sus siglas en inglés) para probar la sensibilidad del sistema a diferentes cambios de uso del suelo y otras mejores prácticas recomendadas por los grupos de visionado.
7	Comparar los escenarios obtenidos con las mismas entradas y modelos múltiples. Para este propósito se desarrollaran modelos GSSHA, HEC-HMS y HEC-RAS para la cuenca de Indian Creek. El conjunto de los modelos utilizados en este estudio se aplicará a diferentes escalas de la cuenca (de la cuenca del Indian Creek a la cuenca del Río Cedar) para evaluar la viabilidad de la ampliación de las herramientas investigativas/predictivas.
8	Volver al grupo(s) de partes interesadas para presentar y discutir los resultados y compararlos con los escenarios de base. El ICWICT utilizará todas las entradas de arriba para determinar un escenario óptimo para la cuenca hidrográfica, con respecto a las consideraciones económicas, ambientales y sociales.
9	El ICWICT determinará qué organismo tiene la capacidad para hacerle frente a los componentes del plan y priorizar los cambios de uso del suelo de acuerdo al nivel de impacto (ambiental, económico y social).

Los resultados del estudio de modelos de propósitos múltiples llevados a cabo en el Indian Creek proporcionará mapas de riesgo que serán posteriormente utilizados en la cartografía de riesgo de inundación con las consideraciones de los factores industriales y socio-económicos, que son fundamentales para la planificación de las inundaciones. La cartografía de las inundaciones también delimitará las áreas para el modelado de la calidad del agua y los impactos ecológicos. Estos modelos proporcionan una sólida comprensión de los factores físicos dentro de la cuenca (por ejemplo, el impacto del drenaje del terreno, uso de la tierra, y otras prácticas para la reducción/retención de la escorrentía). Los resultados generales de la planificación estratégica a largo plazo para la cuenca serán evaluados mediante indicadores de rendimiento que reflejan los objetivos de gestión, las leyes ambientales nacionales y locales, la percepción pública, y los temas de la restauración de llanura de inundación crúciales (Hooper, 2006).

4 Pronóstico

La reducción del riesgo de las inundaciones requiere una multiplicidad de acciones, tanto estructurales como no-estructurales, que sean compatibles con el logro de una cuenca hidrográfica resistente y sostenible. Se tendrá que lograr que los intereses de aguas arriba/tierras altas trabajen con los intereses de aguas abajo/tierras bajas para encontrar soluciones. La alteración del uso de las llanuras inundables, la protección de las comunidades con barreras, la retención del agua, y el cambio de las prácticas de uso de la tierra, serán necesarios para reducir el riesgo de inundaciones en la ICB. El cambio de las prácticas del uso del suelo y/o del manejo del suelo que serán requeridas para la mitigación de inundaciones representa un cambio cultural para los residentes de la ICB. El estudio multi-proyecto del Indian Creek servirá como banco de pruebas para facilitar las observaciones y conclusiones sobre todos los aspectos de implementación de la GIRH, desde los técnicos (cantidad y calidad del agua, riesgo de inundaciones y ecológico) hasta los políticos y de gobernanza, en relación con la colaboración interinstitucional y la participación del público.

Estamos en un largo viaje hacia la implementación de un marco de GIRH para el Indian Creek y la posterior utilización de la experiencia, la tecnología y el aprendizaje social como modelo para otras acciones de colaboración en las cuencas hidrográficas a lo largo de la ICB. El éxito va a surgir en forma de un próspero centro para la comunicación y la coordinación, una Coalición próspera con poder político, una coordinación científica de un alto nivel, un plan de cuenca para la maximización de los servicios de los ecosistemas y lograr la sostenibilidad de la cuenca hidrográfica con programas legislativos, y de acciones compatibles en toda la cuenca.

REFERENCIAS

Filipiak, J., Spitzack, Muste M. (2011) *Capacity Building for IWRM Implementation in Iowa Watersheds*, Summer Specialty Conference, American Association of Water Resources, June 27- 29, 2011, Snowbird, UT.

GWP (2004) *Catalyzing Change: A Handbook for Developing Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Strategies*, Global Water PArnership, Elanders, Svensk Information, Estocolmo, Suecia.

Hooper, B.P. (2006) *Key Perfomance Indicators of River Basin Organizations*, Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers, Alexandria, VA.

Juckem, P. F., Hunt, R.J., Anderson, M.P., and Robertson, D.M. (2008) "Effects of Climate and Land management Change on Streamflow in the Driftless Area of Wisconsin," *Journal of Hydrology* 355, 123-130.

Novotny, E. V. and Stefan, H.G. (2003) *Streamflow in Minnesota: Indicator of Climate Change?* St Anthony Falls Laboratory, University of Minnesota, Minneapolis, MN.

Skopec, M. (2010) "Iowa Floods: the 'New Normal'," *Iowa Natural Heritage*, Fall 2010,
http://www.inhf.org/magazines/2010/fall/2010magfall-images/INHF-Fall2010mag-Flooding-Skopec-web.pdf
Último acceso en noviembre 12, 2010.

Cooperación y conflictos con recursos hídricos locales: carencias en el marco legal y administrativo de la gobernabilidad del agua en Bolivia, Mali, Nicaragua, Vietnam y Zambia

ROBERTO RIVAS HERMANN[1], CATHERINE GALVEZ HOOPER[2] Y HELLE MUNK RAVNBORG[1]

1 Departamento de Desarrollo y Planificación, Universidad de Aalborg, Aalborg, Dinamarca
rrh@plan.aau.dk

2 Consultor independiente en Gestión de Recursos Hídricos, Aalborg, Dinamarca

Resumen En el año 2007, el Instituto Danés de Estudios Internacionales (DIIS) lanzó el programa de investigación "Compitiendo por Agua: Comprendiendo los conflictos por agua y cooperación en la gobernanza de áreas locales". Junto con socios en cinco países en vías de desarrollo (Bolivia, Mali, Nicaragua, Vietnam y Zambia), el programa apunta a contribuir "*de manera sostenible a la gobernanza del agua en áreas locales; en apoyo a los pobres rurales y otros grupos en desventaja en países en vías de desarrollo. Se pretende alcanzar este objetivo al mejorar el conocimiento entre investigadores y profesionales de la naturaleza de: la extensión e intensidad de los conflictos por agua y cooperación en áreas locales (su impacto social, económico y político) y cómo esto podría cambiar con el aumento de la competencia por agua*" (DIIS 2007). Los equipos de investigación de los países desarrollaron una visión general del marco de trabajo y manejo de la gobernanza nacional del agua en etapas tempranas del período del programa Compitiendo por Agua (Bustamante y Cossio, 2007; Djiré, *et al*., 2007; Gómez, *et al*., 2007; Nguyen, 2007; Mweemba, C.E., 2007). El propósito de esta visión era posicionar los resultados de la investigación, en la extensión y naturaleza del conflicto y cooperación por agua al nivel de las áreas locales, en el contexto de los esfuerzos para mejorar la política, legal y administrativa del marco de la gobernanza del agua en cinco países y discutir sus implicaciones. El presente documento sintetiza los posibles vacíos en el marco regulatorio de la política nacional, legal o administrativa de la gobernanza local del agua en referencia a los tipos de conflictos y a las situaciones de cooperación identificadas durante inventarios.

Palabras clave gobernanza del agua local; conflicto; cooperación; instituciones; reformas de agua

1 Introducción

Los conflictos por agua y la cooperación en áreas locales son el resultado de la competencia entre intereses por el uso del agua. Este documento explora cómo las situaciones conflictivas y cooperativas relacionadas con el agua –como las identificadas como parte de los inventarios de eventos relacionados con agua realizados en cinco distritos rurales como parte del programa Compitiendo por Agua[1] (Ravnborg, *et al*., por publicarse; Cossio, *et al*., 2010; Djiré, *et al*., 2010; Mweemba, *et al*., 2010; Nguyen, *et al*., 2010; Rivas Hermann, *et al*., 2010)– son destinados a ser manejados como parte del marco de trabajo de la gobernanza del agua en sus respectivos países. Basado en esto, identifica los vacíos que hacen que el marco legal y administrativo de la gobernanza del agua sea menos eficiente en lo relacionado a conflictos por agua y cooperación a nivel local.

2 Distrito de Namwala, Zambia

Según el inventario de eventos relacionados con agua realizado por Mweemba, *et al.* (2010), el tema más importante fue la demanda por distintos usos de consumo (inter-usos) en competencia. En un

1 Estos documentos de trabajo están disponibles por medio de la página web del programa de investigación: www.diis.dk/water. La síntesis integral ¨Generalidades de la política nacional, legal y administrativa en el marco de la gobernanza del agua – borrador de la síntesis basada en documentos producidos por los equipos de investigación de la competencia pro agua " está disponible en http://www.diis.dk/graphics/Subweb/Water_internal_files/national_overview_synthesis_DRAFT.pdf.

35,8% de los eventos, terceras personas fueron llamadas con el propósito de mediar en los conflictos y garantizar la igualdad al acceso de agua. Frecuentemente, consumidores rurales de agua, pastores individuales y granjeros solicitaron la mediación por terceras personas. Autoridades a nivel local (caciques o jefes y organizaciones comunitarias), fueron las terceras personas contactadas con mayor frecuencia (Mweemba, *et al.* 2010).

En Zambia, vacíos legales y normativos no permiten manejar efectivamente los problemas de acceso al agua ni aquellos relacionados con su escasez. En la práctica, la legislación es inadecuada en lo concerniente a la explotación de los recursos hídricos, sobretodo de aguas subterráneas. Esto se refleja en la falta de normas específicas para manejar los conflictos por agua en las comunidades rurales pobres. En particular, los siguientes déficits fueron identificados dentro del marco administrativo y legal actual:

- Las funciones de los organismos no están claramente diferenciadas; esto lleva a la duplicidad de esfuerzos y funciones
- Inversión económica en declive para los servicios de suministro de agua potable y sanidad
- Los sistemas de agua no son sostenibles desde el punto de vista económico y funcional; el agua es considerada como un costo social en lugar de un recurso económico
- Falta de capacidad logística para el eficiente funcionamiento de los recursos hídricos
- La participación por parte mujeres y niños en la toma de decisiones de la infraestructura y distribución de los recursos hídricos es marginal (Mweemba, 2007), a pesar que una política de género ha sido implementada desde el año 2000; esta política no ha sido puesta en práctica en el sector hídrico

Finalmente es importarte enfatizar que la aplicación de regulaciones en las comunidades locales es disputada por las costumbres tradicionales. De acuerdo a estas costumbres Zambianas, los derechos al agua están relacionados a los derechos de propiedad sobre la tierra (Chileshe, *et al*., 2005). Esta percepción contrasta con un permiso de explotación de agua basado en el enfoque de la gestión hídrica.

3 Distrito de Douentza, Mali

Según los resultados del inventario del Distrito de Douentza (Djiré, *et al.* 2010), los usos más comunes involucrados en eventos relacionados con agua fueron para el consumo de ganado, consumo humano y otros propósitos de consumo. Las partes directamente involucradas fueron consumidores rurales de agua para uso domestico, jefes comunitarios y autoridades locales. Cuando intereses que compiten ceden al conflicto, el problema es reportado, ya sea durante reuniones comunitarias, o al jefe o líder comunitario. En algunos casos, cuando el problema no es resuelto localmente, el jefe y los líderes comunitarios llaman a terceros (60% de los eventos para los que se llamó a terceros fueron conflictivos). El marco administrativo y legal del agua en Mali tiene limitaciones y deficiencias que dan espacio a conflictos. Las siguientes restricciones se suman a la carga financiera en el marco de la gobernanza local:

- Deficiencia en la ejecución de las leyes y normativas: Los intereses de los distintos usuarios (a grande y pequeña escala, y autoridades locales) podrían afectar los arreglos institucionales y la aplicación de la ley. Esto se relaciona estrechamente con el poder político de estos grupos.
- Deficiencias en las capacidades técnicas. Las inversiones en la generación de capacidades son escasas. Los gobiernos locales en especial no cuentan con un número suficiente de técnicos para asegurar la sostenibilidad de los recursos hídricos (por ejemplo, un ingeniero por cada 170 puntos de agua).
- Coordinación inter-institucional deficiente, lo cual causa duplicidad de funciones.

El código hídrico de Mali tiene sus limitaciones con respecto a la explotación de los recursos. El código no es claro respecto a los mecanismos necesarios para enlazar productividad con protección. Las limitaciones específicas a este código hídrico son:

- El código hídrico carece de los mecanismos necesarios para que las autoridades locales puedan implementar normas y regulaciones. El código no especifica si las autoridades locales regularán la explotación de los recursos hídricos por medio de ordenanzas, o qué tipo de sanciones se impondrán a los infractores.
- Deficiencias en lo concerniente a las normas de fijación del precio del agua. Esto implica dificultades en el pago de los cargos, especialmente en áreas rurales, y por tanto los inversionistas están más reticentes a invertir.
- El código de aguas se agrega a las regulaciones ya existentes sin conexión entre sí. Carece de un marco que integre las diferentes estrategias, planes y políticas sectoriales.
- Existe una gran superposición de habilidades entre las estructuras que intervienen en el sector hídrico.
- No existen mecanismos claros para manejar los conflictos relacionados con el agua.
- Las reglas en cuanto a sanidad no son respetadas y esta parece ser responsabilidad de cada hogar.
- Las estructuras establecidas, como los Comités de Cuenca, no están funcionando.

4 Distrito de Con Cuong, Vietnam

El inventario de la competencia por agua (Nguyen, *et al*., 2010) demuestra que los grupos de granjeros, irrigadores y consumidores rurales locales son los más interesados en contactar a terceros para la resolución de conflictos. Por lo tanto, los líderes comunitarios y las autoridades gubernamentales locales (comité rural de la comunidad, comité de irrigación), participan como terceras partes mediadoras y estimulando la cooperación. Las autoridades nacionales (fuera de la comunidad) casi nunca son solicitadas como mediadores. Dos razones para esto son: la distancia que separa las comunidades donde se dan los eventos y el que la intensidad de los conflictos no sea lo suficientemente fuerte para ameritar que estas autoridades se involucren como mediadores.

Durante los años 90, Vietnam comenzó a reformar su marco hídrico legal y administrativo. La ley del Agua de 1998 introdujo distinciones de recursos y usuarios. El mayor reto es alcanzar una adecuada descentralización del sector hídrico que permita a las autoridades locales manejar los principales problemas del sector (cantidad de agua, calidad, polución del agua, degradación del recurso hídrico). Tanto la ley hídrica como los organismos relacionados con el agua tienen limitaciones que impiden una gestión hídrica adecuada, incluyendo:

- Falta de procedimientos administrativos en lo relacionado al eficiente uso del agua y a la prestación de servicios
- Falta de capacidades técnicas
- Planes estratégicos inadecuados para la protección de los recursos hídricos
- Falta de coordinación y cooperación entre las distintas partes involucradas en la gestión del recurso hídrico a nivel local, provincial y nacional
- Inversiones insuficientes en la operación, mantenimiento y gestión de la infraestructura hídrica. Esto involucra el suministro de agua y la calidad de su ejecución

5 Distrito de Tiraque, Bolivia

El inventario del Distrito de Tiraque resalta los distintos usos del agua rural destinada al consumo humano y a la irrigación en grande y pequeña escala como los eventos conflictivos y cooperativos más frecuentes. Los resultados también muestran que terceros fueron llamados en el 12% de los eventos, y que solicitudes formales fueron sometidas a las autoridades externas en el 20,5% de los casos. Jueces y abogados son llamados como terceros cuando las autoridades locales no logran mediar en los conflictos relacionados con el agua (Cossio, *et al.*, 2010).

Bolivia cuenta con un manejo del agua sectorial conectado con regulaciones específicas para cada sector (especialmente el agua para la irrigación y el consumo humano). El enfoque hacia la gestión del manejo del agua conlleva varios problemas. Primero, este enfoque estimula el crecimiento no planificado de los organismos que ya están desconectados de los existentes. Además, las leyes sectoriales del uso del agua para la irrigación y el consumo humano poseen otras imperfecciones: los derechos del uso del agua para la irrigación, por ejemplo, son otorgados de manera permanente por medio de registros familiares y colectivos a los granjeros y grupos autóctonos. La ley no estipula el derecho ni los procedimientos para la revocación de los derechos a la explotación del agua. La ley del agua para el consumo humano y la sanidad fue aprobada en el año 2000. Sin embargo, sus estatutos aún no han sido aprobados. Por lo tanto, hasta que los estatutos sean aprobados, la ley no puede interceder a la fuerza (Bustamante y Cossio, 2007).

El inventario de los eventos locales relacionados con el agua resalta la falta de participación del Estado en la gestión rural de los recursos hídricos (Cossio, *et al.*, 2010). Organizaciones locales (irrigación, agua potable y usuarios) manejan y controlan los recursos hídricos (Cossio, *et al.*, 2010). Adicionalmente, a nivel local, el alcalde y sub-prefecto son las terceras partes llamadas a mediar en los eventos conflictivos y cooperativos. Las organizaciones locales y las autoridades del distrito tienen limitaciones en sus roles como administradores del recurso hídrico y como mediadores de conflicto. Algunas de estas limitaciones se relacionan con escases financiera, falta de personal técnico, mantenimiento de infraestructura y el pago de tarifas. Igualmente, varios organismos locales que comparten el mismo recurso hídrico no están coordinados. Los ejemplos más conocidos se encuentran en los sistemas de agua potable en áreas peri-urbanas (Bustamante, *et al.*, 2007).

6 Distrito de Condega, Nicaragua

El inventario de eventos relacionados al agua se llevó a cabo en el Distrito de Condega. La mayoría de los eventos fueron cooperativos (55,6%). En el 50% de los eventos, las partes llamaron a elementos externos, principalmente a los comités comunitarios, a la Agencia del Agua (antiguamente Proveedor del Servicio de Agua Potable Rural) y al alcalde y vice-alcalde (Rivas Hermann, *et al*., 2010).

La Ley Nacional del Agua[2] estipula un sistema de administración y la creación de una autoridad nacional del agua (ANA) para implementar la ley y coordinar la gestión nacional del agua. La ley del agua contiene algunas debilidades en relación a la administración del agua. Primero, la ley no contiene ningún mecanismo de integración con otras políticas. De hecho, Nicaragua posee una estructura legal amplia para el recurso hídrico. Esto lleva a dispersar los esfuerzos institucionales, contradicciones y traspasos en el marco legal (particularmente en la Política Hídrica del 2001, La ley del Agua y su regulación[3]).

A nivel local, la ley de Municipalidades (Ley 40 y Ley 261) empodera a los gobiernos locales a proveer servicios de distribución de agua –incluyendo mantenimiento y construcción de

2 Ley Nº 620, Ley General de Aguas Nacionales [Ley 620, Ley General del Agua.
3 Reglamento de la Ley General de Aguas Nacionales, Decreto Nº 44-2010.

infraestructura (Art. 7), y para proteger los recursos hídricos (Art. 28). Sin embargo, las concesiones de la explotación del agua deben ser previamente aprobadas por la ANA (según la ley del Agua del 2007). Por lo tanto, los gobiernos locales deberán sobrellevar, además de este último, los siguientes problemas para manejar los recursos hídricos:

- Pocos distritos llevan a cabo alguna planificación territorial. Esto aumenta el riesgo de disminución de la calidad y cantidad de las aguas subterráneas y superficiales.
- Capacidad insuficiente para asegurar el uso sostenible de los recursos hídricos.
- Los mecanismos para la resolución de conflictos no están programados dentro de las normativas que se llevan a cabo de manera *ad-hoc* junto con el síndrome de apagar fuegos.
- Los recursos financieros son insuficientes para asegurar la gestión y el monitoreo. Los gobiernos de los distritos no aportan cuotas periódicas de explotación y no manejan la infraestructura hídrica. Por lo tanto, no existen fondos devengados de los derechos de explotación hídrica para cubrir los costos asociados a la gestión del recurso.
- Los mecanismos de participación de la sociedad civil no son adecuados ni iguales. Existen situaciones en las que se toman decisiones parcializadas con base en la afiliación política.
- Los gobiernos locales son casi siempre abandonados a su suerte, sin asistencia técnica, entrenamiento ni guía por parte de la los organismos públicos centrales que manejan la gestión hídrica.

7 Conclusiones

Las raíces comunes de los eventos relacionados con conflictos por agua fueron su escasez y el desafío de acceder a ella. Estos retos fueron causados por una distribución desigual del recurso, deficiencias en las políticas concernientes al agua y en la administración local del recurso.

Los gobiernos locales deben contar con la capacidad administrativa, técnica y financiera para manejar los conflictos que son generados en sus comunidades. Un entrenamiento adecuado puede ayudar a superar estas deficiencias.

Una política eficiente debería cubrir la demanda y la oferta de agua. La preservación del recurso hídrico y su sostenibilidad no debe estar parcializada. Su política debe tomar en cuenta elementos integrales que permitan una mayor participación de todos los interesados en el sector del agua (usuarios, gobierno, organismos públicos, sociedad civil y autoridades tradicionales).

Agradecimientos

Este artículo fue escrito en colaboración con: Rocío Bustamante, Abdoulaye Cissé, Vladimir Cossio, Moussa Djiré, Mikkel Funder, Ligia I. Gómez, Phuong Le, Carol Mweemba, Imasiku Nyambe, Huong Pham y Nguyen T.B. Yen.

REFERENCIAS

Bustamante. R, Quiroz. F, Heredia. G. (2007) *Análisis institucional: Agua potable y Riego en Bolivia*. Multiple Use Systems Project (MUS), CGIAR Challenge Program Water & Food, IRC – International Water and Sanitation Centre, Programa Agua Tuya, Centro Agua. Cochabamba. Bolivia.

Bustamante, R.; Cossio, V. (2007) *Bolivia, Overview of the national and sub-national water policy, legal and administration context*. Mimeo internal unpublished report. DIIS.

Chileshe. P.; Trotier J.; Wilson L. (2005) *Translational of water rights and water management in Zambia*. International workshop on 'African Water Laws: Plural Legislative Frameworks for Rural Water Management in Africa', 26-28 January 2005, Johannesburg, Suráfrica.

Cossio, V.; Bustamante, R.; y Skielboe, T. (2010) *Cooperation and Conflict in Local Water Management. Conflict and cooperation in local water governance – inventory of local water-related events in Tiraque district, Bolivia*. DIIS Working Paper 2010:11. Copenhagen: Danish Institute for International Studies.

DIIS. (2007) *Competing for water: Understanding conflict and cooperation in local water governance –a comparative and collaborative research program*. Program description DIIS.

Djiré, M.; Cissé, A.O.; Cold-Ravnkilde, S.M. (2007) *Revue nationale du cadre réglementaire et administratif de gestion de l'eau au Mali*. Mimeo internal unpublished report DIIS.

Djiré, M.; Cissé, A.O.; Cold-Ravnkilde, S.M.; Keita, A.; Traoré, A. (2010) *Conflict and Cooperation in Local Water Governance - inventory of water related events in Douentza District, Mali* (DIIS Working Paper 2010:12).

Gomez, L.I; Ravnborg, H.M; Rivas Hermann, R. (2007) *Institucionalidad para la Gestión del Agua en Nicaragua*. Cuaderno de Investigación 30, Managua: Nitlapan.

Mweemba, C.E. (2007) *Overview of the national water policy, legal and administrative context and the context descriptors of Namwala District*. Unpublished internal report DIIS.

Mweemba, C.E.; Nyambe, I.; Funder, M.; van Koppen, B. (2010) *Conflict and Cooperation in Local Water Governance - inventory of water related events in Namwala District, Zambia* (DIIS Working Paper 2010:15).

Nguyen, Y.T.B. (2007) *Overview of the national and sub-national water policy, legal and administration context in Vietnam*. Mimeo internal unpublished report DIIS.

Nguyen, Y.T.B.; Le, P.T.T.; Pham, H.T.M.; Skielboe, T. (2010) *Conflict and Cooperation in Local Water Governance - inventory of water related events in Con Cuong District, Nghe An Province, Vietnam* (DIIS Working Paper 2010:14).

Ravnborg, H.M.; Rocio Bustamante, Abdoulaye Cissé, Signe M. Cold-Ravnkilde, Vladimir Cossio, Moussa Djiré, Mikkel Funder, Ligia I. Gómez, Phuong Le, Carol Mweemba, Imasiku Nyambe, Tania Paz, Huong Pham, Roberto Rivas, Thomas Skielboe, y Nguyen T.B. Yen. (Por publicar) The challenges of local water governance – The extent, nature and intensity of local water-related conflict and cooperation. *Water Policy.*

Rivas Hermann, R.; Paz Mena, T.; Gómez, L.I.; Ravnborg, H. (2010) *Cooperación y Conflicto en torno a la Gestión Local del Agua en el municipio de Condega, Nicaragua* (DIIS Working Paper 2010:13).

Una iniciativa regional de monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos

ROLANDO CÉLLERI[1], PATRICIO CRESPO[1,2], BERT DE BIÈVRE[3] Y LUIS ACOSTA[3]

1 *Grupo de Ciencias de la Tierra y del Ambiente, Dirección de Investigación, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador*
rolando.celleri@ucuenca.edu.ec

2 *Instituto para Ecología del Paisaje y Manejo de Recursos, Justus-Liebig Universidad de Giessen, Henrich-Buff Ring Giessen, Alemania*

3 *Programa Desafío del Agua y la Alimentación (CPWF, por sus siglas en ingles), CONDESAN, Quito, Ecuador y Lima, Perú*

Resumen El diseño de planes de manejo integrado de cuencas sobre cuencas en cursos de cabecera andinas ha enfrentado numerosas limitaciones originadas por la falta de conocimiento sobre los procesos hidrológicos y el impacto de las actividades humanas sobre el ciclo hidrológico. Actualmente, más gente se pregunta sobre los efectos de las acciones provenientes del manejo de sus tierras sobre el agua. Y para estas preguntas no existe una respuesta clara. Mientras que el uso de los modelos hidrológicos para el análisis de escenarios puede dar una posible solución, se complica su aplicación por la falta de datos disponibles para calibrarlos y validarlos hasta los niveles de interés. Hasta ahora, una de las raíces del problema es que hay un limitado monitoreo de las cuencas de drenaje con el propósito de generar conocimiento. La enorme variabilidad encontrada en los ecosistemas, climas y entornos geomorfológicos hacen de la investigación hidrológica una tarea compleja, por lo que tomará mucho tiempo encontrar soluciones a estos problemas sociales, a menos que se dé una buena colaboración entre centros de investigación, ONGs y gobiernos locales. Este manuscrito define los objetivos de una iniciativa regional para el monitoreo hidrológico de los ecosistemas andinos y describe sus primeros pasos.

Palabras clave hidrología montañosa; ecosistemas andinos; páramo; bosques montanos; monitoreo ambiental cooperativo

1 Introducción

Los ecosistemas de los Andes tropicales se conforman principalmente de páramo, jalca, puna, montañas y bosques nubosos, y juegan un papel importante en el suministro de agua de la mayoría de las ciudades y pueblos andinos (p. ej., satisfacen el 85% y 95% de la demanda de agua de Quito y Bogotá, respectivamente). El páramo, la jalca y la puna son ecosistemas neotropicales de grandes altitudes localizados sobre el nivel de la línea de los árboles. Geográficamente, el páramo se puede encontrar en la región desde el norte de Colombia y Venezuela hasta el norte de Perú; la jalca se encuentra desde el norte al centro de Perú y la puna abarca el centro de Perú hasta el norte de Argentina y Chile. En los Andes, los bosques montanos andinos son los bosques característicos de las elevaciones sobre los 1.000 m, aproximadamente. En los lugares donde la presencia de las nubes es permanente, a los bosques montanos se les llama bosques nubosos. El rango de elevación donde estos ecosistemas están presentes es altamente variable y depende principalmente de la latitud.

No obstante, a pesar de que juegan un papel principal como fuente de agua, la hidrología y el balance hídrico de estas cuencas montañosas todavía es pobremente comprendida. Los principales obstáculos para el avance del conocimiento hidrológico han sido la dificultad para implementar y mantener redes de observación, a nivel de investigación, en estos complejos y remotos ambientes, así como la falta de reconocimiento de estos ecosistemas como proveedores de agua. Sumado a ellos, las redes de monitoreo regional han ido disminuyendo durante los últimos años.

Otro reto mayor es la gran variabilidad encontrada en las propiedades biofísicas de las cuencas y, mucho más importante, las condiciones meteorológicas en el espacio y el tiempo (Bendix, 2000;

Vuille *et al.*, 2000; Célleri *et al.*, 2007), que complican la adecuada recolección de datos para la predicción de la precipitación y el caudal a escalas operativas.

Como un ejemplo de esta variabilidad, los páramos andinos, que cubren un área de aproximadamente 35.000 km^2, se encuentran entre el norte de Colombia y Venezuela, bajando hasta el norte de Perú. Los páramos se localizan en un rango altitudinal entre el nivel de los árboles (~3.000 m s.n.m.) y la línea de nieve permanente (~4.500 m s.n.m.), con precipitaciones que varían desde por debajo de los 1.000 mm/año hasta por encima de los 3.000 mm/año.

Los efectos de la falta de datos y conocimiento tienen dos aspectos. Primero, ha entorpecido el desarrollo de modelos hidrológicos y ha llevado al mal uso de los modelos disponibles desarrollados para otras regiones, y cuyos resultados son aceptados sin una apropiada implementación. En efecto, basados en la experiencia de los autores, la calibración de los modelos (sin mencionar la validación y el análisis de incertidumbre) aún es una práctica poco común en muchas de las aplicaciones de los modelos en la región. Segundo, ha puesto severas restricciones al manejo sustentable de recursos hídricos, y por consiguiente al desarrollo de la región. Por ejemplo, actualmente hay un interés creciente en la aplicación de esquemas de pago por servicios ambientales (PSA) (p. ej., Asquith & Wunder, 2008; CONDESAN, 2009) como una alternativa para la protección y conservación de cuencas. Mientras que la provisión de agua es probablemente el servicio más importante provisto por los ecosistemas andinos, la falta de conocimiento sobre el funcionamiento hidrológico de los mismos está limitando la aplicación de las iniciativas de PSA que buscan la conservación del agua.

Durante la última década comenzaron un número de iniciativas de investigación que buscan mejorar el entendimiento de los mecanismos de rendimiento hídrico de caudales de pequeña escala, prístinos e intervenidos por el hombre. Para la identificación de los impactos humanos en el ecosistema de páramo (Buytaert *et al.*, 2006, Crespo *et al.* 2010), el enfoque de comparación de caudales pareados se ha utilizado, mientras que el enfoque anidado ha sido aplicado para el estudio del funcionamiento de los bosques montanos y nubosos (Breuer *et al.*, 2006). Estos y otros esfuerzos han logrado importantes conocimientos sobre los efectos del cambio de uso de tierras en la generación de escorrentía directa y en el rendimiento del agua (p. ej., Buytaert *et al.*, 2006, 2007; Crespo *et al.* 2011, Fleischbein *et al.*, 2006; Tobon, 2008; Wilcke *et al.*, 2009). Sin embargo, dada la extrema variabilidad de la topografía y el clima andino, sigue siendo problemático originar conocimiento genérico para extrapolar los hallazgos hacia datos no monitoreados o caudales escasos y aumentar las dimensiones de los hallazgos hacia el nivel de la escala de interés (Célleri & Feyen, 2009). Adicionalmente, los actores clave locales frecuentemente están en busca de respuestas a sus preguntas (principalmente concernientes al análisis de impacto del uso de la tierra y el cambio climático), solo para encontrar muchísimos vacíos en el conocimiento científico. Este manuscrito, por lo tanto, presenta una propuesta para un enfoque regional para el conocimiento hidrológico avanzado y describe sus primeros pasos.

2 Una red andina de investigación en cuencas

Incrementar el conocimiento del clima y la hidrología de la zona tropical del sistema andino de montaña requiere el establecimiento de nuevas redes de monitoreo y su vinculación a los ya existentes, permitiendo una recopilación de datos funcional y sistemática. Las tareas de monitoreo son inmensas, dada la extensión de la cordillera de los Andes y la variabilidad espacial; por ello, las instituciones de investigación no serán capaces de controlar por sí solas todas las cuencas objetivo sugeridas por los grupos interesados. Una solución requiere de una acción bien diseñada y de colaboración coordinada entre muchos socios, que comprenden grupos de investigación y actores clave locales y regionales.

Mientras que los grupos de investigación recopilan datos climáticos e hidrológicos en cuencas especificas en función de los objetivos de investigación, los actores claves locales y regionales recopilan datos sobre la presión de los problemas relacionados con el agua. De hecho, los grupos de investigación están a cargo de las redes de monitoreo de calidad de investigación, en una serie de cuencas representativas a través del monitoreo basado en procesos, para desarrollar y probar las hipótesis y protocolos para calcular la distribución espacial de flujos hídricos en la cuenca. Por otro lado, los actores clave locales están empezando a implementar sistemas básicos de monitoreo en sus cuencas de interés, o tienen un fuerte interés en hacerlo. La escala de la cuenca en la que los actores clave locales están trabajando corresponde a la de los proyectos de manejo de cuenca y, generalmente, va de los cientos de hectáreas (p. ej., programas de reforestación) a menos de 10 km^2 (p. ej., la protección del ecosistema). Por lo tanto, las predicciones a estas escalas son necesarias.

Para combinar y optimizar el interés y el esfuerzo de todos los actores clave, se sugiere un marco participativo de monitoreo ambiental. En este marco colaborativo, los grupos de investigación y los actores clave locales trabajan juntos para resolver los problemas más urgentes relacionados con el agua. Los grupos de investigación ayudan a los actores clave locales y regionales en el diseño de redes, la selección de instrumentos y la instalación en condiciones bien definidas, la elaboración de directrices para el mantenimiento de la estación y descarga de datos, y el procesamiento, almacenamiento y distribución de datos a varios niveles, generando reportes sobre las condiciones meteorológicas e hidrológicas para la distribución entre las comunidades. Los actores clave locales y regionales (a menudo con el apoyo de ONGs locales que tienen la experiencia necesaria) serán responsables del mantenimiento de la estación, la descarga de datos y su transmisión a una base de datos central, así como del co-financiamiento de proyectos de investigación. Ellos deben hacer que los datos estén disponibles para los grupos de investigación y ayudarlos en sus esfuerzos de monitoreo. Se recomienda que todos los equipos sean automáticos, para evitar errores por medición manual, y para minimizar la inversión de tiempo.

Mientras, los datos recopilados en las cuencas investigadas serán utilizados para el conocimiento de los procesos y el desarrollo de modelos, los datos recopilados por los actores clave locales y regionales serán utilizados para analizar y desarrollar soluciones a los problemas relacionados con el agua y, por ejemplo, para poner a prueba las extrapolaciones y las hipótesis sobre el aumento hacia el nivel de la escala. En primer lugar, se necesita la consistencia y el contexto de la recopilación de datos para la generación de conocimiento, el desarrollo del modelo y la intención en la toma de decisiones.

3 La iniciativa

En julio de 2010 se realizó una primera reunión de 12 instituciones en Cuenca, Ecuador. Su principal decisión fue la de comenzar la llamada Iniciativa regional para el monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos. El coordinador de la iniciativa es el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina (CONDESAN), un consorcio regional de ONGs e institutos de investigación, mientras que la coordinación técnica radica sobre la Universidad de Cuenca, Ecuador a través de su Grupo de Ciencias de la Tierra y del Ambiente.

La iniciativa está en una etapa de establecimiento y capacitación, reuniendo socios y organizaciones interesadas con monitoreos existentes. Hasta ahora, el interés local ha superado las expectativas con creces, teniendo actualmente cerca de 15 sitios de monitoreo en Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. El interés de las organizaciones locales se ve básicamente estimulado por la devolución de los datos formateados concisamente y la información fácil de interpretar sobre el comportamiento de sus pequeños caudales, algo que carece en los grandes esquemas de monitoreo

desarrolladas por agencias estatales. Otra ventaja consiste en incorporar los esfuerzos locales dentro de una comunidad de monitoreo mayor, permitiendo el intercambio de experiencias y datos para la interpretación y análisis regionales.

Los grupos de investigación están monitoreando las cuencas pequeñas y de tamaño medio (1-100 km^2), desde la escala de parcela a la de cuenca, incluyendo las laderas y cuencas pequeñas (<2 km^2) con diferentes usos del suelo. De esta manera será posible entender los efectos del cambio de uso del suelo sobre la hidrología, así como comprobar las hipótesis ampliadas. Mientras que la instrumentación de las cuencas de los actores clave se compone principalmente de estaciones de precipitación y caudal, adicionalmente incluirán estaciones meteorológicas y sensores para medir las variables de estado, tales como la humedad del suelo.

El financiamiento para la implementación del monitoreo en el sitio es proporcionado por proyectos nacionales y locales, tales como el recientemente terminado "Cuantificación de los servicios hidrológicos de las cuencas andinas," proyecto PIC-08-460 financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) y la Universidad de Cuenca. Este proyecto establece dos cuencas de investigación anidada de tamaño medio, las cuencas de monitoreo son de tamaños que van desde aproximadamente ~1 km^2, con coberturas diferentes (principalmente páramo, bosques montanos y plantaciones forestales de especies no nativas); hasta ~15 km^2. Además de ello, provee de un monitoreo básico sobre la precipitación-caudal a dos proyectos de investigación de base comunitaria situados a lo largo de los Andes ecuatorianos. Estos últimos son los proyectos gestionados por ONGs locales en sus esfuerzos por comprender los efectos de las intervenciones humanas sobre el ciclo hidrológico y proteger los bosques naturales contra la deforestación. Por todas estas razones, ellos han comprendido la importancia de medir el caudal (en pequeñas cuencas experimentales y de control) y la precipitación (para eliminar los efectos de la variabilidad del clima: años lluviosos vs. años secos) con el fin de determinar el impacto de sus prácticas de uso de la tierra.

Se llevó a cabo una segunda reunión de las organizaciones participantes en septiembre de 2011, en Quito, y el resultado fue la preparación de un plan estratégico para el segundo año.

4 Conclusiones

Se inició una iniciativa regional de monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos con el fin de mejorar el conocimiento hidrológico de los ecosistemas andinos. Esta red comprende: (a) cuencas densamente instrumentadas para identificar y cuantificar procesos hidrológicos y su variabilidad espacial y (b) cuencas básicamente instrumentadas manejadas por actores clave locales. Dicho enfoque, fundamentado sobre la premisa de que la tecnología ha avanzado hasta el extremo de que comunidades locales pueden involucrarse fácilmente en el proceso de monitoreo, permite el monitoreo en muchas regiones, que de alguna forma, era muy costoso o prácticamente inviable para las instituciones de investigación por sí solas.

Los resultados científicos de las cuencas investigadas en diferentes ecosistemas utilizando el enfoque anidado y el monitoreo en diversas escalas de significancia hidrológica desde la escala de parcela a la de cuenca (<100 km^2), incluyendo las laderas y pequeñas cuencas (<3 km^2) con diferentes coberturas, contribuirán a generar conocimiento, probar hipótesis y generar nuevos modelos. Las cuencas pequeñas se utilizarán para identificar impactos del cambio de uso de suelo sobre el balance hídrico, así como los mecanismos de generación de escorrentía. Por otro lado, las cuencas manejadas por los actores clave tendrán monitoreo básico del caudal-precipitación a la escala de interés del proyecto, normalmente menor que 10 km^2. La información proveniente de las cuencas locales será utilizada para probar y validar el conocimiento sobre las cuencas investigadas. Por lo

tanto, al combinar conocimiento científico y datos locales, se encontrarán soluciones robustas a los problemas de los grupos locales.

Aunque los datos provenientes de las cuencas instrumentadas básicamente sean de menor calidad que los datos provenientes de sus homólogas investigadas, la cobertura espacial y temporal mejorada (p. ej., regiones de precipitación diferentes y escenarios geomorfológicos) puede proveer información de alta utilidad para investigadores y hacedores de políticas. Finalmente, este marco colaborativo de investigación permitirá traer problemas reales y series de datos con control de calidad a los científicos, con calidad controlada, mientras brinda soluciones a problemas sociales basadas en la ciencia.

Agradecimientos

Las ideas expresadas en este artículo fueron recopiladas en el Taller de Hidrología de Ecosistemas Andinos organizado por CONDESAN, en Papallacta, Ecuador, en septiembre de 2008, y en el taller de la Iniciativa Regional para el Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos, en Quito, celebrado en septiembre de 2011. Rolando Célleri y Patricio Crespo fueron financiados por la SENESCYT-Universidad de Cuenca, subvención PIC-11-715.

REFERENCIAS

Asquith, N. & Wunder, S. (2008) *Payments for Watershed Services: The Bellagio Conversations*. Fundación Natura Bolivia, Santa Cruz de la Sierra.

Bendix, J. (2000) Precipitation dynamics in Ecuador and northern Peru during the 1991/92 El Nino: a remote sensing perspective. *Int. J. Remote Sens*. 21, 533–548.

Breuer, L., Vache, K. & Frede, H. G. (2006) *Hydrogeochemical modelling framework. Project V3.2. Estacion Cientifica San Francisco*. Descripción de proyecto.

Buytaert, W., Celleri, R., De Bièvre, B., Hofstede, R., Cisneros, F., Wyseure, G. & Deckers, J. (2006) Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Sci. Rev*., 79, 53–72.

Buytaert, W., Iniguez, V. & De Bièvre, B. (2007) The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecol. Manage*. 251, 22–30.

Célleri, R. & Feyen, J. (2009) The hydrology of tropical Andean ecosystems: Importance, knowledge status and perspectives. *Mount. Res. Dev*. 29, 350-355.

Célleri, R., Willems, P., Buytaert, W. & Feyen, J. (2007) Space-time variability of rainfall in the Paute River basin of South Ecuador. *Hydrol. Processes* 21, 3316–3327.

CONDESAN. (2009) *Servicios ambientales para la conservación de los recursos hídricos: lecciones desde los Andes. Síntesis Regional 2008. Producto 2: Estado de la acción sobre la implementación de esquemas de pago por servicios ambientales*. Lima (en imprenta).

Crespo, P., Feyen, J., Buytaert, W., Bücker, A., Breuer, L. Frede, H.G. & Ramírez, M. (2011) Identifying controls of the rainfall-runoff response of small catchments in the tropical Andes (Ecuador). *Journal of Hydrology* 407, 164-174.

Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Feyen, J., Iñiguez, V., Borja, P. & de Bièvre B. (2010) Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo eocystems. In: *Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins*. IAHS Publ. 336.

Fleischbein, K., Wilcke, W., Valarezo, C., Zech W. & Knoblich, K. (2006) Water budgets of three small catchments under montane forest in Ecuador: experimental and modeling approach. *Hydrol. Processes* 20, 2491–2507.

Tobon, C. (2008) *Los bosques andinos y el agua*. Publicación de ECOBONA, Quito.

Vuille, M., Bradley, R. S. & Keimig, F. (2000) Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. *J. Geophys. Res*. 105, 12447–12460.

Wilcke, W., Günter, S., Alt, F., Geißler, C., Boy, J., Knuth, J., Oelmann, Y., Weber, M., Valarezo, C. & Mosandl, R. (2009) *Response of water and nutrient fluxes to improve*.

Un futuro con escasez de agua para la India

SRIDHAR TYAGESWARAN
Instituto Tecnológico de Coimbatore, Coimbatore, India
t.sridhar@cit.edu.in

Resumen Un crecimiento poblacional implacable, la rápida urbanización y el auge de la industrialización han estresado enormemente los recursos hídricos de la India en tiempos recientes. Este documento es la visión de un ciudadano sobre ciertos aspectos que amenazan la seguridad del agua de la India en los años por venir. Algunos pasos que podrían tomarse para prevenir conflictos por el agua son explorados en el contexto de la India. El estudio pone de relieve: (1) políticas miopes sobre agricultura y subsidios para la agricultura que han llevado a una extracción incontrolable de agua subterránea para irrigación; (2) cómo el impulso por lograr altas tasas de crecimiento del Producto Interno Bruto aumentaría grandemente la demanda de agua para energía, y para las necesidades de desarrollo de infraestructura; (3) por qué los municipios son incapaces de suministrar agua potable las 24 horas del día en la India urbana. Esto subraya la necesidad imperiosa de medidas agresivas y cambios de políticas para el uso sostenible del agua para prevenir crisis severas en el futuro cercano. A menos que la totalidad de los costos incurridos para suministrar agua sean recuperados de parte de todos los consumidores, y los costos de tratamiento y disposición de las aguas residuales generadas sean impuestos a todos los usuarios, no habrá compulsión para re-usar el agua, reducir su desperdicio, o prevenir su contaminación con aguas residuales y efluentes. Las prácticas agrícolas que mejor se adapten a la tierra, la recogida obligatoria de aguas pluviales, y tarifas graduadas que impidan un consumo excesivo del agua deben ser implementadas.

Palabras clave gobierno; agua subterránea; políticas; sostenible; agua

1 Introducción

Es de suma importancia que los recursos de agua sean utilizados de manera sostenible para el bienestar de cualquier país, para la prosperidad de la agricultura y la industria de la nación, para proteger la salud de los ciudadanos, para hacerle frente a las necesidades de energía, y para proteger el ambiente. El uso sostenible del agua es de lo más crucial para una economía en rápido desarrollo como la de la India. Una amplia mayoría de su creciente población de 1.200 millones de personas está privada de acceso a agua limpia y segura. Cerca del 80% de sus niños sufren de enfermedades relacionadas con el agua, y millones más están afectados con trastornos prevenibles que pueden ser atribuidos al agua insegura que utilizan para tomar o lavar. A pesar de tasas impresionantes de crecimiento del PIB en la última década, y más de 60 años de independencia del dominio colonial, la falta de accesibilidad al agua potable segura y una falta general de instalaciones sanitarias básicas e higiene continúan afectando el desarrollo socioeconómico de la India. En muchos lugares, la gente se ve forzada a gastar una porción sustancial de sus ingresos diarios en la procura de agua. Aquéllos que no tienen los recursos necesarios recurren a alguna forma de robo de agua.

1.1 Antecedentes

En promedio la India recibe 4.000 millardos m^3 de precipitación, y 80 a 90% de la misma ocurre durante cuatro meses de cada año. En sus 2,78 millones / km^2 de cuencas hidrográficas (MoWR, 2011), la profundidad promedio del flujo anual es de 0,51 m (Deshpande, 2011). La escorrentía de los ríos en India es de más o menos 1.418 millardos m^3/año. Hay adicionalmente 432 millardos m^3 de flujos anuales a través de sus sistemas fluviales que reponen las reservas de agua subterránea (MoWR, 2009). Hay alrededor de 400 millardos m^3/año de agua subterránea y 690 millardos m^3/año de escorrentía de los ríos que puede ser aprovechada beneficiosamente, por varias razones. Debido

al crecimiento sin descanso de la población, el agua per cápita disponible en la India, basado en la totalidad de la escorrentía de los ríos y la recarga de agua subterránea, ha descendido de 1.816 m^3/año en 2001 a 1.529 m^3/año en 2010. Para alimentar las crecientes necesidades, la producción anual de granos alimenticios (arroz, trigo, cereales secundarios y legumbres) en India ha crecido desde 50 millones de toneladas (MT) en los años 50 hasta 241 MT en 2010. Para 2025, la población de la India puede exceder la de China, y se requerirán por lo menos 350 MT/año de producción de granos alimenticios. En 2010, la demanda total anual de agua para irrigación, bebida, industria, energía y otros usos fue de 813 millardos m^3. Para 2025, esa figura se proyecta que será de 1.093 millardos m^3. En los años por venir, si se distribuyeran 70 millardos m^3/año de agua subterránea para propósitos domésticos y de la industria, 330 millardos m^3/año quedarían disponibles para necesidades de irrigación. Inundaciones y sequías causan estragos a través de la India año tras año. Mientras 400,000 km^2 de India (1/8 de su territorio) está propenso a inundaciones, 1/6 de su territorio está propenso a las sequías (Comisión Central del Agua, 2010). De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, en el futuro, los eventos de lluvias podrían tornarse severos y ocurrir durante menos días al año. Esto ciertamente aumentaría el riesgo de pérdida de cosechas debido a inundaciones excesivas y sequías en una economía dependiente de los monzones, como es la India. La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha advertido que: (a) para 2050 el mundo necesitará agua para 2.500 millones adicionales de personas; (b) el uso del agua ha estado creciendo a una tasa que es el doble de la tasa de crecimiento de la población humana en el último siglo; y (c) la cubierta de hielo del Himalaya que alimenta a muchos de los ríos de la India podría descender significativamente para el 2030.

1.2 Política Nacional del Agua

La Política Nacional del Agua de la India (NWP, por sus siglas en inglés) prevé la necesidad de un sistema de información bien desarrollado como requisito primordial para la planificación de los recursos hídricos. La NWP menciona la necesidad de captación de aguas pluviales (RWH, por sus siglas en inglés), conservación del agua, desalinización del agua de mar, recarga artificial de las aguas subterráneas, y la administración de las cuencas hidrográficas a través de conservación de los suelos, preservación de los bosques, reforestación, protección de las cuencas y la creación de diques de contención. Esta política indica la necesidad de una integración cercana entre las políticas de uso de agua y uso de tierras, y las prioridades de asignación de agua para beber, irrigar, generación hidroeléctrica, etc. En los temas de transferencia entre cuencas de las aguas de ríos, o el reasentamiento y rehabilitación (R y R) de personas para acomodar proyectos de agua de gran tamaño, la NWP se restringe a realizar declaraciones políticamente correctas. La NWP está actualmente en revisión, porque no tiene metas con estrategias para lograrlas.

1.3 Propósito y metodología del estudio

Este documento expresa la preocupación de un ciudadano sobre algunos de los asuntos relacionados con el agua, que están destinados a influir sobre el desarrollo económico de la India, y algunas maneras posibles de avanzar para resolver su inminente crisis. El estudio está basado en información accedida desde sitios web del gobierno, agencias no gubernamentales e informes en los medios impresos (por ej., prestigiosos periódicos y revistas a nivel nacional).

2 Algunos asuntos principales relacionados con el agua

Cada año, el departamento meteorológico de la India emite un pronóstico de lluvias monzónicas. El pronóstico está destinado a los encargados de formular políticas, planificadores, economistas, agricultores y ciudadanos por igual, ya que el monzón resulta ser el Ministro de Finanzas *de facto* de la India. Todo en la India parece girar alrededor de un monzón abundante: la siembra de cultivos, los almacenamientos en las presas para irrigación durante el resto del año, la generación hidroeléctrica, el aseguramiento del suministro de agua potable todo el año para las ciudades y poblados que son alimentados por embalses locales, y la producción industrial. Cualquier demora en la llegada o el progreso del monzón es un asunto de gran ansiedad para el gobierno de la India. Que las lluvias sean normales, en exceso, o deficientes ha sido siempre algo difícil de predecir, a pesar de muchos avances científicos. En promedio, la India obtiene toda su lluvia en < 100 horas cada año. La distribución de las lluvias monzónicas puede no ser uniforme espacialmente también: ciudades pueden inundarse mientras las tierras de cultivo que están a corta distancia pueden permanecer secas; o un grupo de estados regionales podrían estar golpeados por la sequía, mientras en otras regiones el gobierno podría estar luchando contra las inundaciones.

En años recientes, el impulso mayor de la India por el crecimiento económico a través de la industrialización rápida ha agravado su escasez de agua. Las aglomeraciones urbanas han aumentado rápidamente debido a una elevada migración desde los pueblos, y la demanda por agua en las ciudades ha crecido aún más rápidamente. Hoy en día casi el 32% de la población de la India vive en áreas urbanas. A razón de 135 litros per cápita diariamente, la India urbana necesitaría 52 millones m^3 de agua por día. Incapaces de atender estas demandas, muchas ciudades están tratando de obtener sus necesarias fuentes de agua desde lugares más y más lejanos. La gente y el ganado de tales lugares, que también dependen de estas mismas fuentes de agua, se enfrentan entonces a una menor disponibilidad de agua para su agricultura y sustento. También ha aumentado drásticamente la extracción de agua subterránea para atender las deficiencias, en parte debido a los esquemas del gobierno para el desarrollo de los recursos de agua subterránea. La oferta del gobierno de electricidad gratuita y subsidios al diesel, las semillas y fertilizantes para la agricultura, y facilidades mejoradas de financiamiento para la perforación de pozos, han llevado a un auge de la industria de pozos. Anualmente se extraen cerca de 230 millardos m^3 de agua subterránea, 92% de los cuales se utiliza para irrigación. Los agricultores que acostumbraban cultivar productos que sobrevivían con pocas lluvias, gradualmente cambiaron hacia cultivos de arroz, trigo y caña de azúcar, atraídos por las primeras promesas de disponibilidad de agua subterránea y la expansión de las redes de canales (Kaur, 2009). La situación ahora es que más de 109 millardos m^3 del agua subterránea han desaparecido en los estados agrícolas del norte y noroeste de la India, y en los lugares donde esta ha sido sobreexplotada, la tabla de agua ha caído alarmantemente. En ciertas regiones de la India, altas concentraciones de arsénico, fluoruro o hierro pueden hallarse en el agua subterránea. El uso indiscriminado de fertilizantes inorgánicos ha resultado en niveles aumentados de potasio y nitratos en el agua subterránea. Hay informes de ingreso de agua de mar hacia acuíferos costeros de agua dulce debido a la extracción no sostenible de agua subterránea.

En 2002, la Corte Suprema de la India ordenó al gobierno de la Unión a reconsiderar la propuesta pendiente por mucho tiempo de las transferencias entre cuencas de las aguas de los ríos de la India, como un medio de superar las crónicas sequías e inundaciones. La propuesta de interconexión de los ríos (ILR en inglés) prevé la transferencia de agua desde cuencas que tienen excedentes hacia cuencas que están deficientes, con un componente del Himalaya (HC) para los ríos que fluyen en el norte, noreste y la mitad superior de la India, y un componente peninsular (PC) para los ríos que fluyen en la mitad del sur de la India. La propuesta es técnicamente viable, pero muy

cara de implementar, a razón de Rs. 5.600 millardos, estimados hace una década, y excluyendo los costos de la tierra sumergida, el R y R y los costos de funcionamiento. Los proponentes afirman que beneficios significativos se producirían: 0,34 millones km^2 de área aumentada bajo irrigación, 34 GW de generación hidroeléctrica agregada, 173 millardos m^3/año de agua salvada de la escorrentía hacia los mares, suministro constante de agua para necesidades domésticas, industriales y agrícolas, creación de nuevas oportunidades de trabajo, etc. Sus oponentes argumentan sobre las posibles consecuencias de la desviación de los ríos, tales como cargas alteradas de sedimentos, cambios en las deltas de los ríos, dislocación de poblados, pérdida de tierras principales de cultivo y cubierta forestal para llevar a cabo nuevos embalses, fertilidad reducida de los suelos, etc.

La India actualmente se enfrenta a grandes deficiencias en la electricidad, la cual es producida principalmente por centrales térmicas de energía. Para hacerle frente a las siempre crecientes demandas de electricidad para varios proyectos masivos en el futuro cercano, la India planea agregar 100 GW al total de su capacidad instalada de generación durante su Plan XII, principalmente a través de la ruta térmica, aún mientras algunos nuevos proyectos hidroeléctricos están haciéndose operativos lentamente. La creciente generación térmica resultará en demandas adicionales para cantidades masivas de agua de enfriamiento, para llevarse el calor expedido en el ciclo de energía termodinámica. Fuentes de agua superficial y subterránea tendrán que ser identificadas para este propósito; en las regiones costeras se podría usar agua de mar para este enfriamiento. Es poco probable que unidades solares fotovoltaicas y generadores eólicos (turbinas de viento), que no requieren agua de enfriamiento *per se,* pero que generan intermitentemente energía limpia renovable, pudieran hacerle frente de manera significativa a la enorme demanda por electricidad de la India en el futuro cercano. En las seis industrias más intensivas en energía de la India, para el año 2030, el retiro de agua dulce combinada ascenderá en un 40%, a 57 millardos m^3, 87% de la cual se necesitará para el sector de generación eléctrica (Bhushan, 2010). La creciente industria del hierro y el acero será el usuario más grande de agua dulce. Casi el 32% del agua dulce extraída sería consumida (y el resto sería descartada luego de usarse). Habría un aumento de seis veces del agua consumida por las industrias de hierro, acero, cemento y aluminio tomadas juntas, para hacerle frente al crecimiento industrial de la India.

3 Discusión

Podría parecer que la mayor parte de la escasez de agua de la India pudiera aliviarse si el proyecto ILR se llevara a cabo. Pero tan inmenso proyecto requiere de datos altamente confiables sobre las lluvias, el balance del agua, el flujo de los cursos de agua, los niveles de agua subterránea, etc., recogidos durante muchas décadas, antes de que todos los ríos puedan conectarse (Jain, *et al*., 2008). Las tasas de acumulación de sedimentos, filtraciones en canales, la geología, topografía y las condiciones de los suelos para ubicación de nuevas presas, embalses y terraplenes, etc. tendrían que ser considerados. Transferencias y diseminación de efluentes y contaminantes descargados a los ríos en otros lugares tendrán que ser modelados y analizados. Los efectos de interconectar sobre la ecología de los ríos no están aún bien comprendidos. Comparada con la salida neta de agua de los ríos hacia el Mar Arábigo, la salida neta de agua de los ríos hacia la Bahía de Bengala es mucho más grande. También la Bahía recibe más agua de lluvia. Juntas, resultan en aguas menos saladas (y menos densas) que flotan como una capa superficial en la parte superior. La capa es calentada rápidamente por el sol y soporta un gradiente norte-sur en las temperaturas de la superficie del océano de la bahía. Esto, a su vez, lleva a un gradiente de presión atmosférica favorable que atrae los vientos cargados de humedad del monzón desde el suroeste (Gopal Raj, 2011). Al desviar las aguas hacia las tierras occidentales y restringir los flujos de agua dulce hacia la bahía, el ILR podría

terminar afectando severamente la intrincada interacción de los océanos y la atmósfera que impulsan los monzones de la India cada año.

La mayoría de los grandes ríos de la India que quedarían conectados bajo el HC (componente del Himalaya) se originan en Nepal y Bután, y eventualmente desembocan en Bangladesh. Hay tratados Indo-Nepaleses históricos sobre el uso de aguas de río de Nepal para beneficio de la India. Pero, al pasar los años, las políticas Nepalesas se han endurecido en respuesta a la negativa de la India de permitir evaluaciones independientes de los beneficios aguas abajo (Chaturvedy y Malone, 2011). Ya Nepal no está entusiasmado con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos que beneficiarían a la India o que protejan a los territorios de la India de las inundaciones. En cambio, Bután tiene instalaciones hidroeléctricas diseñadas por la India que operan en su territorio. Esto ha llevado a excedentes de electricidad y desarrollo socioeconómico en Bután; la electricidad limpia excedente es exportada hacia la India. Si el proyecto ILR desvía los flujos de las cuencas hidrográficas principales del noreste hacia el oeste, Bangladesh podría perder mucho en cuanto a agua de río. Antes de embarcarse en el proyecto ILR, India debería llevar a cabo un gran trabajo diplomático preparatorio para apaciguar a sus vecinos. En lugar de esquemas grandiosos como el ILR, o la exploración de fuentes de agua localizadas a cientos de kilómetros de distancia, otras medidas efectivas y mucho menos costosas pueden llevarse a cabo para atender los problemas de agua de la India:

a. En el frente agrícola es necesario que los expertos evalúen críticamente las políticas gubernamentales que promueven cosechas abundantes año tras año para mantener excesivas reservas de amortiguación. Debido a una falta agobiante de infraestructura de almacenamiento adecuado de granos en todo el país, y cuellos de botella dentro del sistema público de distribución, grandes cantidades de granos se dejan pudrir a la intemperie (Swaminathan, 2011). Con los no remunerativos precios mínimos de apoyo que se ofrecen, los agricultores de la India en los estados agrarios de Punjab, Haryana y otros, cultivan dos o más cosechas al año gracias a la sobre-explotación de agua subterránea y el uso indiscriminado de pesticidas y fertilizantes inorgánicos. Como resultado, se afectan vastas áreas de suelos, con deficiencias críticas de micro-nutrientes esenciales o que han sido permanentemente dañados. En el Punjab solamente, más de 27.000 km^2 de tierras están con arroz, tierras que son más apropiadas para el cultivo de leguminosas. Se necesita acción de políticas para convencer a los agricultores de que pueden beneficiarse más de cultivos alternativos como los de semillas oleaginosas, maíz con alto contenido de proteínas, o leguminosas, que requieren mucho menos agua para crecer que el arroz. Por la negligencia de las políticas gubernamentales, los niveles de producción de las leguminosas se han estancado durante las pasadas décadas. Solamente los agricultores pequeños cultivan leguminosas en estos días. Los agricultores deben ser estimulados a sembrar variedades de trigo y arroz resistentes a la sequía o tolerantes a la sumersión, para minimizar los riesgos de pérdidas no previstas de sus cosechas. Prácticas como el sistema de intensificación del arroz, que no requiere inundar los campos y promueve el uso de fertilizantes orgánicos, deben ser seguidas extensamente. Por cada kg de grano alimenticio que se deja podrir o perder, casi de 2 a 4 m^3 del agua que se utilizó para su cultivo también se pierde. Una petición a la Corte Suprema presentada en 2010 afirma que casi 18 millones de toneladas de granos alimenticios cosechados estaban siendo almacenados en condiciones que con el tiempo podrían inutilizarlos para el consumo humano. El agua correspondiente utilizada que se perdería sería suficiente para atender los requisitos normales de bebida de los 1.210 millones de personas de la India por 15 días. Esto no considera el agua consumida para la producción del fertilizante o para la electricidad gratuita usada para el crecimiento de esos granos.

b. El suministro de agua municipal para uso doméstico en la India ocurre por unas pocas horas diariamente o, en muchos casos, por una duración muy limitada una vez cada pocos días. Casi 1/3 del suministro de agua se pierde a través de fugas en las redes urbanas de tuberías (Seth, 2009). La mayoría de los municipios carecen de fondos para reemplazar o reparar los ductos rotos, porque los esquemas municipales de agua son financiados a través de presupuestos estatales. Las redes de tuberías urbanas están pobremente diseñadas con materiales de calidad inferior que no cumplen con las especificaciones técnicas. Para superar los problemas de las fugas, los servicios de agua reducen la presión de suministro o cortan la duración del mismo. Por tanto, es muy difícil identificar y arreglar las fugas a través de mediciones apropiadas del agua consumida. Con las fugas y la baja presión, el suministro de agua es altamente susceptible a la contaminación. Los partidos políticos ganan las elecciones con promesas vacías de un suministro de agua 24 horas al día y 7 días a la semana, pero se muestran renuentes a tratar con firmeza los asuntos del precio del agua, por temor a perder sus bancos de votos. Bajo el pretexto de atender a los pobres, las tarifas de agua están fuertemente subsidiadas y no toman en consideración los verdaderos costos involucrados en el abastecimiento, tratamiento y distribución antes del suministro, y en el re-tratamiento y disposición de las aguas residuales posteriormente. En esta situación, aquellos que tienen acceso al agua subsidiada le dan rienda suelta al uso excesivo o al mal uso sin sentido. Las casas ubicadas en barrios pobres en su mayoría permanecen desconectadas del suministro municipal, y peleas por el agua en fuentes públicas no son infrecuentes. En las áreas rurales donde prevalecen las barreras de castas, la gente de "castas bajas" debe formar colas separadas, o se les niega su justa participación para el agua por las influyentes "castas altas". Hay una percepción de que sólo el gobierno, como custodio de los intereses de los ciudadanos, debe administrar el suministro del agua. Una privatización del suministro de agua podría llevar a tarifas más altas, pero la necesidad del agua no tiene por qué convertirse en otra mercancía, mientras haya vigilancia estricta. Los clientes no están dispuestos a pagar más porque la calidad y la cantidad de agua recibida actualmente están lejos de ser las deseables. Ultimadamente, al no tener un suministro confiable las 24 horas del día los 7 días de la semana, la gente tiene que invertir en tanques subterráneos o elevados, motores eléctricos y bombas, o re-priorizar sus actividades para recolectar y almacenar su agua. Sin garantías sobre la calidad del agua, la gente tiene que comprar purificadores de agua o agua embotellada, o hervir su agua para beber. Los purificadores de agua malgastan el agua, las botellas plásticas de agua terminan como pilas de basura, y hervir el agua requiere insumos costosos de energía. Aquellos que no pueden costearse ninguna de esta opciones sufren de terribles enfermedades que son prevenibles.

4 Conclusiones

El desarrollo de la India es negado de manera significativa por las insuficiencias en el suministro de agua potable segura. Las demandas por el agua de parte de la industria y la agricultura de la India podrían muy pronto sobrepasar el suministro, a menos que se inicien pasos drásticos para asegurar un uso sostenible de los recursos de agua. La captación de agua de lluvia en las carreteras podría ahorrar 500 millardos m^3/año adicionales y reponer las reservas agotadas de agua subterránea, pero el gobierno todavía tiene pendiente hacer esto obligatorio. La Ley del Agua, la Tierra y los Árboles (2002) está supuesta a regular el uso del agua subterránea, pero nadie solicita permiso para perforar pozos, simplemente lo hacen. Los funcionarios no evalúan los pozos porque los departamentos del gobierno no realizan coordinaciones. No hay una disposición en la ley para medir y cobrar

por consumo de agua subterránea. Esto promueve la indiferencia hacia la conservación del agua subterránea, que es algo que debe corregirse.

Hay una necesidad urgente de conectar la Política Nacional del Agua con el Plan de Acción Nacional sobre el Cambio Climático. Se le debe dar poderes a las comunidades para el manejo del suministro de agua, y el énfasis debe ser sobre el resurgimiento de las fuentes locales tradicionales de agua, como los llamados *ooranis* (estanques en las aldeas), o los *talapariges* (manantiales de agua dulce), y la captación de agua de lluvia en las azoteas. El manejo de los recursos de agua urbana requiere de enfoques coordinados hacia las aguas residuales, los desechos sólidos, y el manejo del agua de las tormentas. Similar que con los aparatos eléctricos, las instalaciones de agua y otra plomería deben ser sujetas a clasificaciones verdes. Se pueden dar incentivos especiales para reducir el consumo de agua a través de mejoras verificables en las eficiencias de uso de agua o en su re-utilización.

REFERENCIAS

Bhushan, C. (2010) Resource war: India after 2020, *Down To Earth* 18 (23), Centre for Science and Environment, New Delhi.

Central Water Commission. (2010) *Water and related statistics*, Water Resources Information Systems Directorate, New Delhi.

Chaturvedy, R. R., and Malone, D. M. (2011) Hydro-diplomacy: a neglected opportunity for Nepal and India, *The Hindu*, Jun. 28, 2011.

Deshpande, V. (2011) National policy for use of river water needed: conservationist, *The Hindu*, May 30, 2011.

Gopal Raj, N. (2011) The oceans and the monsoon, *The Hindu*, Jun. 29, 2011.

Jain, S. K., Kumar, V., and Panigrahy, N. (2008) Some issues on interlinking of rivers in India, *Current Science* 95 (6): 728-735.

Kaur, R. (2009) A home grown drought, *Down To Earth* 18 (8): 23-29.

Ministry of Water Resources. (2009) *Ground Water Resource Estimation Methodology*, Report of the Ground Water Resource Estimation Committee, Govt. of India.

Ministry of Water Resources, Government of India, (accessed on Jul. 12, 2011) at: http://www.wrmin.nic.in.

Seth, B. L. (2009) Divining round the clock water, *Down To Earth* 18 (11), Centre for Science and Environment, New Delhi.

Swaminathan, M. S. (2011) The Wheat Mountains of the Punjab, *The Hindu*, May 11, 2011.

Creando sinergias con los programas HELP y de Ecohidrología de la UNESCO-PHI en la cuenca hidrográfica del Río Guadiana

SUSANA NETO[1, 4, 5], LUIS CHÍCHARO[2, 5] Y JEFF CAMKIN[3, 4, 5]

1 *Centro de Geografia y Planificación Regional (e-GEO), Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, Universidad Nueva de Lisboa, Lisboa, Portugal*
susana.neto@netcabo.pt

2 *Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Algarve, Portugal*

3 *Centro de Excelencia de Ecohidrología, Escuela de Ingeniería de Sistemas Ambientales, Universidad del Oeste de Australia, Australia*

4 *Programa HELP de la UNESCO-PHI*

5 *UNESCO-Centro Internacional de Ecohidrología Costera (ICCE), Faro, Portugal*

Resumen En el contexto de creciente demanda, pérdida de la calidad, creciente escasez regional, e incertidumbre del clima global, la gestión sostenible del agua y los enfoques integrados para la planificación del agua son cruciales. Estos temas están recibiendo una atención creciente a través de la cooperación transversal sinérgica entre hidrólogos y otras disciplinas. Organismos internacionales como la UNESCO son los promotores de este diálogo. UNESCO HELP es un programa transversal cuyo el objetivo es mejorar los vínculos entre la hidrología y las necesidades de agua para la sociedad. Complementariamente, el Programa de Ecohidrología de la UNESCO pretende utilizar el conocimiento de las relaciones integrales entre los procesos hidrológicos y biológicos. La Cuenca del Río Guadiana, en Portugal y España, es una cuenca de la UNESCO HELP, y en julio de 2009, un foro internacional de HELP reunió a expertos de todos los continentes en Guadiana para discutir, con el equipo de planificación y la comunidad local, experiencias de cuencas hidrográficas en todo el mundo. Adicionalmente, con la clasificación en 2010 de la cuenca hidrográfica del Guadiana como una Cuenca de Referencia Ecohidrológica, se crearon más oportunidades para la cooperación en la misma. Este documento analiza cómo esta sinergia particular puede ser beneficiosa para el proceso de planificación. Bajo la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea, los planes de las cuencas hidrográficas deben integrar las dimensiones ecológicas, sociales y económicas. Este reto ha demostrado ser más difícil de lo esperado para los países europeos. Programas como HELP y Ecohidrología pueden apoyar efectivamente el proceso de planificación, mejorando el diálogo entre las diferentes disciplinas, sectores y perspectivas sobre el agua, dando lugar a una consideración mucho más rica de los problemas y las posibles soluciones. Este trabajo pretende hacer hincapié en los beneficios que se pueden obtener a través de sinergias entre los programas de la UNESCO que operan dentro de la misma cuenca fluvial.

Palabras clave GIRH; HELP; Ecohidrología; planificación del agua; DMA

1 Introducción

El Río Guadiana es una cuenca hidrográfica internacional compartida por Portugal y España, y una de las 91 cuencas del mundo bajo el programa HELP de la UNESCO-PHI. Situada entre las Regiones de Castilla-La Mancha, Extremadura, Alentejo, Algarve y Andalucía, es la "frontera de agua" más importante entre los dos países, con una superficie total de 66.800 km^2 (de la cual 17% se encuentra dentro del territorio portugués – Fig. 1).

La morfología de la cuenca hidrográfica divide la región en tres zonas: el Alto Guadiana, el Guadiana Medio y el Bajo Guadiana. Las condiciones climáticas se derivan de las características secas del Mediterráneo y son casi homogéneas en toda la cuenca, variando ligeramente de sub-húmedo a seco y semiárido (Bajo Guadiana). Tiene veranos calurosos, con una temperatura media anual de 16º C, altos niveles de insolación y de evapotranspiración, y precipitación media anual entre 500 y 600 mm. La variabilidad característica de las precipitaciones en el sur de Portugal siempre ha llevado a la necesidad de almacenamiento de agua, lo que se ha logrado exclusivamente a través de la construcción de presas y embalses de agua a lo largo de los ríos.

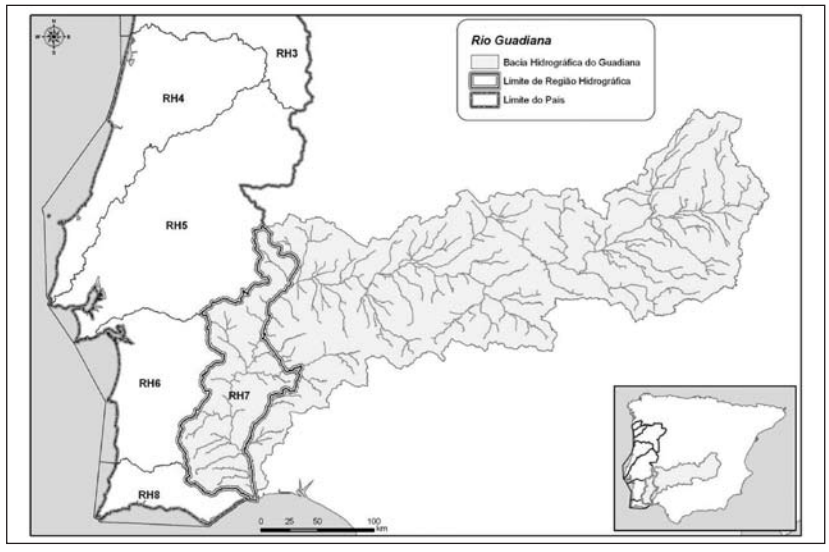


Fig. 1 Cuenca Hidrográfica del Guadiana.
Fuente: ARH Alentejo, 2009.

El aumento en la frecuencia de la sequía está afectando a los medios de vida, y la captación excesiva de las aguas subterráneas lleva a la escasez de agua en verano. La erosión del suelo y el proceso de pérdida son también una preocupación importante y un grave problema ambiental. La conciencia del valor ambiental del agua es una consideración esencial en las políticas adoptadas, y la atención debe centrarse en fomentar el conocimiento sobre los procesos naturales a nivel de usuarios de agua, con el fin de ser más eficaces. Sin embargo, una comprensión más amplia en la cuenca hidrográfica, regional, nacional o incluso mundial, también constituye un componente de aprendizaje en términos de un diálogo universal y global.

La desertificación es una causa y una consecuencia de muchas dificultades en la gestión del agua en la región. El conflicto sobre los diferentes usos del agua es un problema importante para las políticas locales, así como para las agencias del gobierno central en el campo, con la agricultura de regadío representando más del 90% de los usos globales de la cuenca.

Además, los cambios en la cantidad de agua dulce y la calidad de la que llega a la zona costera adyacente a la desembocadura del Guadiana están provocando cambios en la productividad primaria de la costa y causando un cambio en las agrupaciones de peces, con consecuencias para la pesca comercial en la zona. Por ejemplo, se ha observado un cambio de agrupaciones de peces planctívoros dominantes a agrupaciones de peces carnívoro-demersales (Chícharo, *et al*., 2005).

2 Cambio institucional y desarrollo de capacidades en el Guadiana

Bajo la Ley de Aguas Nacionales de Portugal del año 2005 se crearon las Administraciones Regionales de las Cuencas Hidrográficas (ARH), estableciéndose un nuevo marco institucional de política y acción. Se estableció un Comité de la Cuenca Hidrográfica del Guadiana para apoyar el proceso de planificación y la gestión en curso de la cuenca hidrográfica. La Directiva Marco del Agua (DMA) ha dado lugar a un gran cambio en el paradigma actual europeo sobre la gestión del agua. La presente Directiva permite que las acciones de los Estados Miembros sean coordinadas, y da a las políticas una orientación más integral, tratando de abordar la disponibilidad de agua como

un bien de alto valor ambiental y ecológico, y reconociendo que todos los usuarios son responsables de su conservación.

La implementación del Plan de la Cuenca Hidrográfica enfrenta dificultades de coordinación entre las agencias del agua, debido a una visión muy sectorial para la resolución de los problemas del agua y a la falta de participación de los interesados en el proceso de toma de decisiones, principalmente en las actividades de planificación.

La legislación para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) no es inadecuada, sino que la aplicación de la misma no es fácil; hay problemas recurrentes en la vigilancia y el monitoreo (ya sea con la utilización abusiva, la falta de medición, la degradación de la calidad del agua por descargas de efluentes, o simplemente malas prácticas en la agricultura, la cría de animales, etc.) La participación de los interesados se puede reforzar mediante de la activación de los niveles regionales y locales de discusión, por ejemplo, a través de los Comités de Cuenca existentes. Estos foros pueden convertirse en un poderoso instrumento para la discusión de las expectativas comunes y la toma de decisiones, lo que podría ayudar a desarrollar una perspectiva más amplia sobre la "gobernabilidad del agua" en la región.

Los gobiernos locales (municipios) juegan un papel muy importante en los procesos de desarrollo; sus opiniones y perspectivas de las políticas locales son cruciales para establecer una GIRH eficaz en la cuenca hidrográfica.

3 Planificación del agua para la Cuenca del Guadiana bajo la DMA de la Unión Europea

La GIRH y la "Buena Gobernabilidad del Agua" en la cuenca del Guadiana implican entonces tener una mejor comprensión de los principales problemas que afectan a la dimensión social del acceso al agua, y de las consecuencias de la escasez de agua. Esto incluye la gestión de los impactos y las expectativas creadas por las intervenciones, como por ejemplo la presa de Alqueva, que cubrirá algunos usos del agua (tierra de riego, principalmente) y otros no (la pérdida de bienes y de valores culturales y patrimoniales, los impactos negativos). La gestión de estos temas se está convirtiendo en una preocupación mundial en torno al agua, que debe ser manejada a nivel local y regional.

Los sistemas de agua están permanentemente cambiando y expuestos a las presiones humanas, y los mecanismos de regulación a nivel local o regional pueden fallar, llevando a una crisis que afecte al medio ambiente y/o a los sistemas sociales de regiones más grandes. La incapacidad para controlar la presión por el agua puede revelar deficiencias institucionales en la gestión de los sistemas de agua, así como la poca participación pública en la toma de decisiones (Roxo, *et al*., 2008).

La complejidad de la gestión del agua surge de la necesidad de articular adecuadamente una gran diversidad de subsistemas en niveles muy diferentes. Un enfoque a escala múltiple permite la consideración simultánea de los asuntos locales, el contexto y características regionales, las condiciones nacionales y directrices del marco institucional, y la evolución de los patrones de uso de la tierra. Las instituciones regulan la articulación entre los diferentes subsistemas de la gestión del agua a diferentes escalas, por lo tanto, el marco institucional en el que se incluye la gestión del agua es un factor muy relevante. A nivel local, algunos problemas deben ser abordados bajo una perspectiva a corto plazo, mientras que otros (con carácter estratégico) deben ser afrontados a nivel global dentro de una perspectiva a largo plazo. La dimensión espacial no sólo se refiere a la delimitación biofísica del sistema "agua", sino también a los acuerdos sociales e institucionales que determinan el nivel de intervención humana en el sistema (Neto, 2010).

En la cuenca del Guadiana existe una fuerte necesidad de "agencias" –individuos y organizaciones que demuestran un liderazgo no restringido a la implementación de la ley– que pueden superar los mecanismos burocráticos. También hay una clara necesidad de fortalecer la

capacidad de los planificadores, tanto del agua como del ordenamiento territorial, con miras a lograr una comprensión más profunda de la complejidad contemporánea de los procesos de integración, así como la comprensión de que la planificación es un proceso dinámico. Una comunicación más fuerte en todos los procesos de planificación para apoyar la armonización de los diferentes planes puede ser una forma efectiva para mejorar los mecanismos de integración a través del diálogo y la concertación (*Ibid*).

4 Discusión

4.1 El programa HELP de la UNESCO-PHI en el Guadiana

La Cuenca Hidrográfica del Guadiana ha participado en el programa HELP desde el 2004, y fue aceptada como un área de captación continua para la tercera fase (2009-2013). Los objetivos claves de HELP en la Cuenca del Guadiana son los siguientes:

- Contribuir a una mejor coordinación y diálogo entre las diferentes entidades administrativas de gestión y planificación del agua y del uso del suelo en el territorio de la cuenca, sobre la base de una comprensión social ampliada y la cooperación hacia los objetivos de la GIRH
- Una investigación más profunda de la interacción entre los procesos aguas arriba y aguas abajo, como base para la promoción del uso sostenible de los ecosistemas
- Mejor conocimiento base de las políticas y los procesos de toma de decisiones a nivel local y regional (de la cuenca hidrográfica)

En el año 2009 se celebró un Seminario Internacional en Évora, Alentejo, con el apoyo de la Administración Regional de Recursos Hídricos (ARH) y la participación de los principales sectores de trabajo en el campo para el plan hidrológico de la cuenca (ahora en su fase final y lista para el debate público).

Las recomendaciones para el cambio de la política en la Cuenca del Guadiana se pueden resumir en tres puntos principales (Neto, 2010):

- Abordar la falta de mecanismos de vinculación dentro de los sistemas institucionales y de planificación y exigir el desarrollo de capacidades de los planificadores, tanto del agua como del ordenamiento territorial
- Mejorar el conocimiento de los diversos sectores y actores que utilizan y se benefician de los sistemas de agua para convertirlos en socios efectivos y construir agendas comunes para la acción
- Fortalecer el papel de "agencia" de la ARH, con la participación de otros socios y sectores y la construcción del marco para la negociación de objetivos de la gestión de los sistemas de agua y de la planificación

Para cualquiera de estas áreas de intervención existe una clara posibilidad de que el programa HELP brinde algunas pautas e incentive a la ARH a jugar un papel de intermediario en la comunicación entre la Administración Central, las autoridades locales, las comunidades locales y otros actores, promoviendo así el cambio hacia una GIRH efectiva en la Cuenca del Río Guadiana.

4.2 El Programa de Ecohidrología de la UNESCO-PHI en el Guadiana

El Programa de Ecohidrología de la UNESCO se centra en una comprensión integrada de los procesos biológicos e hidrológicos a escala de la cuenca de captación, con el fin de crear una base científica para un abordaje socialmente aceptable, costo efectivo y sistémico, para la gestión sostenible del agua dulce (UNESCO, 2011). Dentro de este Programa se han establecido Sitios de Demostración Ecohidrológica para identificar los lugares donde se implementan prácticas sostenibles, innovadoras y

transdisciplinarias de gestión del agua, basadas en los principios de ecohidrología, y para mostrar cómo identificar, cuantificar y mejorar las interrelaciones críticas entre el agua, la biota y los sistemas sociales para gestión sostenible del agua. Estos sitios están siendo presentados en la investigación científica y en las actividades de capacitación del programa. Los objetivos de la red de Ecohidrología son los siguientes: "(1) sintetizar los vacíos de conocimiento para abordar las cuestiones ecohidrológicas relacionadas con los ecosistemas de agua bajo presión; (2) mostrar cómo un mejor conocimiento de las interrelaciones biológicas e hidrológicas de los ecosistemas acuáticos puede promover la capacidad de carga sostenible a largo plazo de los ecosistemas y así contribuir a una gestión del agua más costo-efectiva y ambientalmente amigable, y (3) demostrar soluciones de sistemas y oportunidades de transferencia de tecnología a través de relaciones Norte-Sur y Sur-Sur, trabajando en estrecha colaboración con la Familia del Agua del PHI de la UNESCO" (UNESCO , 2011). La 'familia del agua' del PHI de la UNESCO se refiere a la red global entre la Sede de la UNESCO, el Instituto de Educación del Agua - IHE, el Programa de Evaluación Mundial del Agua, los institutos y centros del agua, las Oficinas Regionales de la UNESCO y las Presidencias relacionadas con el agua.

El Guadiana es uno de los dos Proyectos de Referencia Global dentro de la Red de Proyectos de Demostración, y se centra en la gestión sostenible de las zonas de estuarios para el control de la eutrofización, las floraciones tóxicas, las especies invasoras y la conservación de la biodiversidad en la desembocadura del Guadiana, que también forma parte del programa HELP. La desembocadura del Guadiana está afectada por la presa de Alqueva, que modificó el régimen hidrológico y la función ecológica del río, el estuario y el área costera adyacente. En consecuencia, las actividades científicas en este Proyecto de Referencia Global de Ecohidrología se dirigen hacia la búsqueda de soluciones basadas en ecohidrología para los sistemas costeros impactados por grandes represas. Las actividades educativas, coordinadas por el Centro Internacional de Ecohidrología Costera (UNESCO-ICCE) y la Universidad de Algarve, Faro, se enmarcan en la implementación de sitios de demostración en la zona salina del Guadiana.

La coincidencia entre los programas de Ecohidrología y HELP en el Guadiana ofrece una oportunidad importante para tomar una perspectiva en conjunto de los retos y soluciones para el estuario del Guadiana. Con un mayor énfasis en la integración política, y más conexiones con los responsables por políticas en todo el mundo, el programa HELP puede ayudar a la integración de los principios y actividades de ecohidrología en la planificación del recurso hídrico para el Guadiana, y por medio de la demostración, apoyar el desarrollo de políticas en otros lugares.

4.3 El Centro Internacional de Ecohidrología Costera de la UNESCO

La ubicación del Centro Internacional de Ecohidrología Costera de la UNESCO (UNESCO-ICCE) en la boca del estuario del Guadiana, en Faro, Portugal, ofrece una oportunidad única para que la gestión focalice su atención en la investigación del estuario del Guadiana (también dentro de la cuenca), que es relevante tanto para el programa HELP y como para el de Ecohidrología. Por ejemplo, el UNESCO-ICCE está involucrado en un proyecto dirigido a la armonización de metodologías para la implementación de la DMA, entre Portugal y España. Además, como parte de las redes de HELP y de Ecohidrología, el UNESCO-ICCE participa activamente en el desarrollo de nuevas propuestas de investigación en el Séptimo Programa Marco Europeo de Investigación (7PM) y en la Política Europea de Vecindad y Asociación (IEVA). Estas propuestas multinacionales se están desarrollando en consulta y colaboración con los organismos centrales de planificación del agua para el Guadiana, las Administraciones Regionales de Cuencas Hidrográficas (ARH) en Portugal, que son los socios nacionales del UNESCO-ICCE, y con socios institucionales y otros en España.

La red de HELP también se ha involucrado activamente en la educación a través de la UNESCO-ICCE y la Universidad de Algarve. Además de colaborar en este artículo, los autores fueron invitados a desarrollar y ofrecer nuevos cursos en Problemas Mundiales del Agua y GIRH (diciembre 2010), y en Ecohidrología Mundial en Acción (agosto 2011), como parte del programa de Maestría en Ciencias de la Ecohidrología Erasmus Mundus (EMMC). Estos cursos dieron énfasis a los programas de HELP y Ecohidrología, incluyendo presentaciones en línea para estudiantes y guías interactivas a cargo de los miembros de la red HELP en Francia, Nueva Zelanda, Filipinas, Malasia y Bélgica.

5 Conclusiones

Los beneficios sustanciales que los distintos programas de la UNESCO, como HELP y Eco-hidrología, pueden aportar a las comunidades locales son evidentes desde el foro HELP 2009 en Évora. Los planificadores locales de agua y otros tomadores de decisiones, investigadores y la comunidad Guadiana, simplemente no habrían tenido la oportunidad de acceder a un mundo de posibles soluciones a sus problemas de agua si el Guadiana no fuera una cuenca del programa HELP UNESCO. Ahora, el hecho de tener una cuenca HELP, un Sitio de Referencia Global de Ecohidrología, y el Centro Internacional de Ecohidrología Costera, todos en la cuenca del Guadiana, ofrece una situación única y una oportunidad aún mayor para el fomento de la investigación, la gestión y la formulación de políticas, no sólo en el Guadiana, sino también a nivel mundial.

La triangulación de los programas e instituciones de agua de la UNESCO, junto con otros en la región, donde el Guadiana es un sitio de estudio (así como un sitio de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO y del Programa sobre el Hombre y la Biosfera de la UNESCO), crea numerosas sinergias potenciales. Estas incluyen la oportunidad para la inversión más coordinada y eficaz en la investigación, la enseñanza, la consulta a la comunidad y la gestión de la información.

El Guadiana es una cuenca hidrográfica internacional en una región particularmente vulnerable al cambio climático, que ya sufre una amplia gama de desafíos, entre ellos la escasez de agua, el deterioro de la calidad de la misma y la desertificación social. Es un área focal de la Convención de las Naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación, y fue también una cuenca de referencia para la implementación de la DMA.

Su diversa gama de importantes desafíos, los imperativos actuales de gestión, las necesidades de investigación básica y aplicada, y la coincidencia de múltiples programas e instituciones de la UNESCO, ofrecen una oportunidad única para desarrollar el Guadiana como un laboratorio institucional de pruebas para la gobernabilidad del agua.

REFERENCIAS

Chícharo L., Chícharo A., Ben Hamadou R. y Morais P. (2005) 'Ecohydrology in estuaries and coastal areas: the Guadiana estuary case'. En: *Water and Ecosystems: Water Resources Management in Diverse Ecosystems and Providing for Human Needs*. UNU/INWEH publications. 13pp.

Neto, S. (2010) *Water, Territory and Planning. Contemporary Challenges: towards a Territorial Integration of Water Management*. Tesis doctoral. Septiembre 2010.

Roxo, M.J. (Coord), Neto, S., Nunes da Silva, F. y Gonçalves Henriques, A. (2009) *Analysis of Stakeholders Expectations in Regions with Water Scarcity – Lessons for Water Governance*. Project FCT: PDCT/AMB/57633/2004.

UNESCO (2011) *Ecohydrology for sustainability*. International Hydrological Programme, UNESCO Division of Water Sciences, París, Francia. 2011. 24 p.

Gobernabilidad sostenible del agua y fortalecimiento institucional a través de prácticas de gestión integrada de cuencas en Andhra Pradesh, India

SUVARNA CHANDRAPPAGARI
Servicio Forestal de la India, Departamento de Desarrollo Rural, Andhra Pradesh, India
suvarnac@yahoo.com

Resumen Andhra Pradesh (AP) es el quinto estado más grande en la India, con grandes extensiones de zonas alimentadas por lluvias, incluidas desde 1994 en programas de cuencas hidrográficas. Este estudio analiza enfoques sostenibles basados en cuencas hidrográficas centrados en los pobres y estrategias implementadas en los distritos propensos a la sequía en dos proyectos: el Proyecto de Medios de Vida Rurales de Andhra Pradesh (APRLP, por sus siglas en inglés), financiado por el Departamento para el Desarrollo Internacional de Reino Unido (DFID, por sus siglas en inglés) y las Iniciativas de Adaptación a la Sequía de Andhra Pradesh (APDAI, por sus siglas en inglés), financiadas por el Banco Mundial, para la comprensión de la calidad, impacto y sostenibilidad de las actividades de las cuencas hidrográficas. El análisis se realiza mediante el estudio de casos, la evaluación del impacto, y documentos relacionados con los procesos, las intervenciones de mejora de la productividad, las innovaciones institucionales, estrategias operativas, y la convergencia de las instituciones. Indicadores como criterios de privación múltiple (social y material), a saber: el bajo potencial para el desarrollo de regadíos, los ingresos de los hogares y las bases de activos, las dificultades con los alimentos de temporada, la propiedad de la tierra y la degradación de los recursos naturales, fueron tomados en cuenta para la selección de las áreas a ser tratadas. Matrices de impacto-respuesta y redes participativas de planificación fueron utilizadas ampliamente en ambos proyectos. Los proyectos y los planes piloto se iniciaron en varias combinaciones: diversificación de sistemas de cultivos y agrícolas, garantizar el acceso a aguas superficiales y subterráneas, y la producción ganadera. Otro aspecto importante fue la diversificación de la cartera de oportunidades de ingresos para los pobres, mediante el establecimiento de vínculos institucionales para el micro-crédito, y por medio de la ampliación de fondos rotatorios para la organización de crédito doméstico para grupos femeninos de autoayuda y sus federaciones, con el fin de que promuevan microempresas. Las iniciativas dieron lugar al abordaje de los temas de equidad y de empoderamiento en la gestión de cuencas hidrográficas. Las recomendaciones incluyen reducir las diferencias en la ejecución de proyectos de cuencas hidrográficas, haciendo más hincapié en el fortalecimiento de las instituciones de las aldeas, fomentar la gestión comunitaria del agua subterránea, la diversificación de las prácticas de agricultura, y la adopción de nuevas tecnologías / innovaciones exitosas.

Palabras clave Gestión de cuencas hidrográficas; medios de subsistencia rurales; gestión de aguas subterráneas comunitarias; instituciones sostenibles; matriz de impacto y respuesta; planificación de redes de participación

1 Introducción

Andhra Pradesh (AP) es el quinto estado más grande en la India, con 76 millones de habitantes, de los cuales 35 millones viven en ocho distritos propensos a la sequía. La mayoría de la gente en estos distritos depende de la agricultura de secano (alimentada por las lluvias) para su subsistencia, pero frecuentes años de sequía han afectado negativamente a las cosechas y a los rendimientos de la ganadería. Alrededor del 60% de la agricultura irrigada utiliza agua superficial, debido a que las lluvias son escasas e irregulares, lo que resulta en la sobre-explotación del agua subterránea de los acuíferos. Hogares por debajo de la línea de pobreza, y otros ligeramente por encima de esta línea, se hacen vulnerables inclusive a cambios marginales en el ambiente (CESS e*t al.*, 2003; Vijaya Kumar, et al., 2009; MANAGE, 2008).

El desarrollo de cuencas se ha implementado como una estrategia importante en estas áreas, para lograr la conservación del suelo y del agua, mediante la optimización de los sistemas de producción de la tierra y el uso sostenible a bajo costo, con tecnologías específicas de cada lugar. En

este contexto, los programas de desarrollo de cuencas hidrográficas son instrumentos importantes en la revitalización de la economía rural de AP. Un total de 6.795 proyectos de cuencas hidrográficas han sido sancionados, 4.242 bajo el Programa de Área Propensa a la sequía (DPAP, por sus siglas en inglés), el Programa de Desarrollo del Desierto (DDP, por sus siglas en inglés) y el Programa Integrado de Desarrollo de las Tierras Baldías (IWDP, por sus siglas en inglés) por el Gobierno de la India (GOI, por sus siglas en inglés) desde 1994-95 hasta 2006-07. De estos, 4.560 proyectos aún continúan, en 22 distritos rurales de AP. Cada proyecto de cuenca hidrográfica abarca 500 hectáreas de zona de secano. Mientras tanto, las directrices y los procesos sobre cuencas hidrográficas que han evolucionado a través del tiempo (GOI, 2008) han conducido a la sanción del Programa Integrado de Gestión de Cuencas Hidrográficas (IWMP, por sus siglas en inglés) desde el 2010-11 en adelante, cubriendo 17.450 micro-cuencas hidrográficas (11.038.000 hectáreas), con un desembolso económico de $3.400 millones.

2 Objetivos del estudio

- Analizar enfoques sostenibles basados en cuencas hidrográficas en beneficio de los pobres, y estrategias para la comprensión de la calidad, impacto y sostenibilidad de diversas actividades en las cuencas hidrográficas
- Comprender la influencia de estos programas en la política y en su ampliación
- Recomendar medidas posibles para la implementación exitosa de proyectos de cuencas hidrográficas

3 Metodología del estudio

El análisis fue realizado estudiando los casos, la evaluación del impacto (TARU, 2007), los documentos relacionados con los procesos (WASSAN, 2009), las intervenciones de mejora de la productividad, las innovaciones institucionales, estrategias operativas, y la convergencia de las instituciones. Los detalles relevantes de cada proyecto se suministran por separado, y las conclusiones cubren los puntos salientes de ambos proyectos: el Proyecto de Medios de Vida Rurales de Andhra Pradesh (APRLP, por sus siglas en inglés), y las Iniciativas de Adaptación a la Sequía de Andhra Pradesh (APDAI, por sus siglas en inglés).

4 Proyecto de Medios de Vida Rurales de Andhra Pradesh (APRLP)

El APRLP, una iniciativa conjunta del DFID con el Gobierno de Andhra Pradesh fue implementado del 2001-02 al 2008-09 en cinco distritos de AP que eran semiáridos y propensos a la sequía, a saber: Anantapur, Kurnool, Mahabubnagar, Nalgonda y Prakasam, con el objetivo de fortalecer el programa en curso de desarrollo de cuencas hidrográficas, mediante la adopción de un enfoque participativo y favorable a los pobres para mejorar los medios de subsistencia rurales. El APRLP era un proyecto de "cuenca hidrográfica y más" ("watershed-plus") que fue diseñado para ir más allá de la gestión de los recursos naturales para atender las necesidades de los grupos marginados y vulnerables de la población, como aquellos que no tienen tierra, las mujeres y los más pobres de la comunidad. El APRLP se dispuso a aprender conscientemente a partir de, y construir sobre, las experiencias pasadas de desarrollo de cuencas hidrográficas en AP. Trató de garantizar un mayor enfoque en las tierras de los pobres, mejorar la participación, el cambio a estructuras costo-efectivas y mejorar la calidad de la gestión de los recursos naturales.

4.1 Diversificación y fortalecimiento de los medios de subsistencia

El APRLP se enfocó directamente en la prestación de beneficios a los pobres sin tierra como una prioridad, mediante la asignación de dos componentes separados de $9.000, para el mejoramiento de la productividad, y $6.600, para la promoción empresarial. Los fondos asignados fueron proporcionados por la Agencia Distrital de Gestión Hídrica, basándose en el plan de acción de la Organización de la Aldea (VO, por sus siglas en inglés), constituido como un fondo rotatorio gestionado por la VO, la cual es una federación femenina de Grupos de Autoayuda (SHG, por sus siglas en inglés). Cada SHG consiste de 10 a 15 miembros de antecedentes homogéneos. Los fondos rotatorios fueron rotados entre familias/actividades identificadas, por un período determinado por la VO. Las tasas de interés y los pagos variaron a través de las diversas actividades. Planes de acción y planes financieros de crédito para microempresas fueron preparados para los miembros de cada SHG, mediante la adopción de acciones para las necesidades de cada miembro. La atención se centró en la identificación y promoción de empresas no-agrícolas y en el desarrollo de la ganadería, incluyendo pequeños rumiantes, a través de mecanismos apropiados como la obtención asegurada del alimento, la orientación en salud animal, y la cobertura de seguro para los animales.

4.2 Procesos e innovaciones institucionales

Un criterio de selección de nueve puntos fue ideado para la selección de las áreas del proyecto. Este criterio integró los criterios de degradación natural de los recursos con los criterios de privación múltiple (privación social y material), con el fin de obtener indicadores fiables de las características técnicas y sociales. Organizaciones comunitarias y organizaciones no-gubernamentales (ONG) fueron seleccionadas como Organismos de Implementación del Proyecto. Una planificación de red participativa se llevó a cabo con el fin de evaluar las necesidades de cada hogar en el área del proyecto. Los SHG femeninos y las VO, participaron activamente en todos los procesos.

4.3 Mejora de la productividad

Con el objetivo general de aumentar el impacto en la pobreza mediante una mayor productividad agrícola y ganadera, y mejorar las oportunidades de medios de vida, el APRLP formuló estrategias asignando 30% (alrededor de $20.000) de la inversión total del proyecto, que se extendió a través de los sub-componentes: fondo rotatorio (78%), pruebas de adopción (11%), y desarrollo de la infraestructura (11%). El fondo rotatorio fue utilizado principalmente para la concesión de préstamos para comprar semillas, fertilizantes, pesticidas e implementos agrícolas de bajo costo, así como ganado lechero. El calendario de pagos fue fijado por los propios miembros, basándose en la actividad iniciada. Las pruebas de adopción fueron efectuadas a una escala limitada, para probar la producción de semillas, la gestión integrada de nutrientes, la gestión integrada de plagas, equipos de bajo costo, prácticas innovadoras de ahorro de agua como el Sistema de Intensificación de Arroz (SRI, por sus siglas en inglés) en los arrozales, etc. Los casos de gestión de ganadería, inseminación artificial, desparasitación, vacunación y producción de forraje fueron escogidos como áreas de enfoque. Infraestructuras de bajo costo, tales como unidades de lumbricultura, unidades de bio-pesticidas, sistemas de micro-irrigación y nuevas tecnologías, fueron proporcionadas por el proyecto, con una contribución del 10% al 20% por parte de los beneficiarios.

4.4 Impacto en la gestión de los recursos naturales

El Proyecto recomendó varias estructuras costo-efectivas para cumplir con la conservación y el aumento de cuatro tipos de suministro hídrico: el agua de lluvia, la humedad del suelo, aguas superficiales y aguas subterráneas, a fin de aumentar la productividad agrícola de secano y permitir que los agricultores resistan los períodos de sequía. El proyecto anima a los agricultores a cultivar cultivos de cobertura en todas las tierras de secano, a proporcionar abono verde, así como a reducir la evaporación de humedad del suelo, permitiendo que los cultivos de secano resistan la sequía durante un período de 15 a 30 días.

El número de fuentes de agua superficiales se ha triplicado, en particular los tanques de filtración, seguidos por los diques de contención. También hubo un importante aumento en el número de meses de disponibilidad de agua en las fuentes de aguas superficiales, y el 50% de las cuencas hidrográficas reportaron aumentos en el nivel freático. Las tierras en barbecho fueron incluidas entre las de cultivos, debido a las intervenciones en las cuencas hidrográficas y a la disponibilidad del crédito. El proyecto trató de demostrar métodos para aumentar la productividad agrícola y ganadera, dedicando una parte del presupuesto de la cuenca hidrográfica hacia ellos. Se pudo notar el aumento en bruto de la superficie cultivada, también de un número de agricultores que asume una segunda cosecha, y una mayor productividad de los cultivos. Los préstamos otorgados conforme al aumento de la productividad fueron utilizados sobre todo para la compra de insumos agrícolas.

4.5 Impacto en los ingresos, seguridad alimentaria y medios de vida

Los fondos rotatorios para el crédito a los hogares desempeñaron un papel crucial en la mejora de los ingresos –en particular de los grupos de enfoque, tales como los campesinos marginales sin tierras, y las mujeres cabeza de familia. Los activos de ganado aumentaron, aunque no hubo un impacto significativo en la propiedad de la tierra o de los equipos de agricultura. El número medio de meses de dificultad alimentaria se redujo debido al papel crucial que desempeñan los SHG y VO, proporcionando cereales a créditos a precios razonables. Sin embargo, el nivel global de la diversificación fue bajo, ya que la mayoría de los préstamos fueron utilizados para la producción lechera y la cría de ganadería ovina y caprina. El gasto en alimentos y en el servicio de la deuda constituyó una parte importante del gasto familiar, y la dificultad alimentaria relacionada con la disponibilidad de alimentos todavía estaba presente en algunas áreas.

4.6 Sostenibilidad de las instituciones

El APRLP partió de un enfoque totalmente basado en el subsidio para el desarrollo de las cuencas hidrográficas, el cual se había practicado hasta entonces en la India, hacia un enfoque basado en el crédito a través de dos componentes clave del Proyecto: aumento de la productividad y promoción Empresarial. La creación de los fondos rotatorios de subvenciones para proyectos y su ubicación en las VO aseguraron un elemento de sostenibilidad del proyecto más allá de su vida práctica. El enfoque del APRLP afrontó con éxito los desequilibrios de género en la representación, participación y toma de decisiones, proporcionando un papel central a las VO y SHG en el proyecto, construyendo sus capacidades para planificar y gestionar los recursos naturales y otras actividades de subsistencia, a través de modelos financieros sostenibles.

5 Iniciativas de Adaptación a la Sequía de Andhra Pradesh (APDAI)

El proyecto APDAI se inició en el año 2006 con la ayuda financiera de un fondo fiduciario del Banco Mundial, y por el beneficiario-ejecutor, el Fondo de Implementación para el Cambio Climático (CCIG, por sus siglas en inglés) de la Política y Desarrollo de Recursos Humanos (PHRD, por sus siglas en inglés) del Japón. Dos distritos altamente propensos a la sequía, Anantapur y Mahbubnagar, con una fuerte dependencia de las aguas subterráneas, fueron seleccionados para la iniciativa.

5.1 Intervenciones

Las APDAI se limitaron a cuatro áreas de intervención: (i) sistemas de producción, (ii) apoyo institucional y creación de las capacidades, (iii) gestión de los recursos naturales comunes, e (iv) instrumentos económicos y de mercadeo. Una estrategia de doble enfoque, basada en la conservación de los recursos naturales y el mejoramiento socio-económico, fue desarrollada teniendo en cuenta las intervenciones antes mencionadas, con el objetivo de mejorar los medios de subsistencia.

5.2 Retos técnicos

Los retos técnicos se definieron como: (i) asegurar el acceso al agua, particularmente el agua subterránea a todos los hogares para sus necesidades de subsistencia, así como para el regadío crítico de los cultivos de secano, (ii) la diversificación de los sistemas de cultivos y agrícolas para una mejor resistencia a la sequía; (iii) la diversificación de la cartera de oportunidades de ingreso, para los pobres en particular, a través del sector ganadero y pesquero; (iv) la creación de reguladores de recursos, en particular del agua, forraje y semillas, a través de instalaciones localizadas de almacenamiento y de mecanismos rápidos de respuesta institucional y (v) la integración de innovaciones en los programas regulares del gobierno como una condición importante para la ampliación y la sostenibilidad.

5.3 Procesos

Las instituciones de las aldeas, los grupos específicos de partes interesadas, tales como agricultores, pastores y campesinos sin tierra de las aldeas, y los representantes de los departamentos gubernamentales, participaron en las discusiones y se desarrolló una "matriz de impacto y respuesta". Esta matriz identificó en forma sistemática los impactos esperados positivos y negativos de la variabilidad y el cambio climático, así como la estrategia de respuesta que sería necesaria para gestionar el impacto, y las iniciativas específicas de programas pilotos para traducir esa estrategia en intervenciones prácticas. Un total de 19 iniciativas piloto fueron identificadas y casi todas las medidas de intervención estaban relacionadas con la gestión del agua, ya que el agua es un factor limitante en los sistemas de gestión de los recursos naturales de las tierras secas.

5.4 Estrategia y enfoque piloto

Dado que la estrategia exitosa de adaptación a la sequía debería incluir la creación de oportunidades de empleo fuera del sector agrícola para aliviar la presión sobre los recursos naturales, temas como la política de migración y las remesas se convirtieron en parte importante de una estrategia inclusiva. La política se complementó con un conjunto de condiciones institucionales y políticas, y los desafíos de la estrategia piloto fueron definidos como:

- Ampliar el acceso al agua a todos los hogares para satisfacer sus necesidades de subsistencia, y en particular a las aguas subterráneas, para permitir el crucial riego de los cultivos de secano
- Mejor gestión de la humedad del suelo mediante el aumento de la materia orgánica en los suelos
- Mejor agronomía de regadío
- Diversificar los sistemas de cultivo, en particular los sistemas de secano, mediante la introducción de una mezcla de cultivos de corta y larga duración, cultivos hortícolas anuales y perennes, y mediante la integración de los cultivos de alimentos y forrajeros en los sistemas.
- Diversificar la cartera de oportunidades de ingresos
- Crear amortiguadores de recursos, en particular del agua, forraje y semillas, a través de instalaciones localizadas de almacenamiento y/o a través de mecanismos de rápida respuesta institucional

5.5 Gestión del agua subterránea basada en la comunidad

En la India, el agua subterránea es una propiedad privada y las leyes existentes no son suficientes para controlar con eficacia las mismas. Las APDAI abordaron el problema de la gestión de las aguas subterráneas mediante la conexión de todos los pozos artesianos a través de una tubería común, en la cual estaban conectados aspersores, para demostrar a los propietarios de pozos taladrados la ventaja de compartir "su" agua con los agricultores que no tenían pozos taladrados. Los agricultores que no tenían pozos taladrados se comprometieron a no taladrar nuevos pozos por lo menos durante un período de diez años, y la instalación de tuberías y aspersores de riego aseguró la irrigación de áreas más grandes para los agricultores dueños de pozos taladrados.

5.6 Intervenciones de ganadería

Decisiones que habían tenido resultados positivos fueron tomadas, como la de ampliar las cooperativas de pesca, mejorar la raza del ganado ovino, establecer centros de cría de pollos y establecer seguros de ganadería, las cuales proporcionaron mayores ingresos a familias pobres.

6 Lecciones aprendidas

Para lograr exitosas medidas de adaptación es necesario un fuerte liderazgo, junto con organizaciones de la sociedad civil y estructuras gubernamentales que funcionen bien, dispuestas a innovar y cambiar. Un diálogo intenso y abierto con todas las partes interesadas es un requisito previo para un "nuevo pensamiento" acerca de la adaptación al cambio climático. Una fuerte sinergia entre la gestión de los recursos naturales y el desarrollo de los medios de subsistencia es un enfoque satisfactorio. Las soluciones técnicas son a menudo simples, pero el reto se encuentra en crear el ambiente propicio. Cualquier actividad que resista el paso del tiempo debe ser económicamente viable para el individuo o grupo de personas que se dediquen a ella.

7 Conclusiones

El énfasis del APRLP y de las APDAI en la creación de capacidades, los medios de subsistencia y los enfoques participativos a favor de los pobres en la gestión de los recursos naturales dio como resultado una mayor transparencia del programa de desarrollo de cuencas hidrográficas, así como

el aumento de la capacidad de respuesta de las comunidades rurales. Ambos programas lograron demostrar exitosamente que el desarrollo de las cuencas hidrográficas puede ser favorable a los pobres, ser sensitivo al género y tener un enfoque en los medios de vida. Los procesos de selección de las cuencas hidrográficas, que eran una mezcla juiciosa de criterios técnicos y sociales, y dirigidos a los grupos más pobres y marginados dentro de las cuencas hidrográficas seleccionadas, también jugaron un papel importante enfocando dichos esfuerzos. Las directrices del proceso para el desarrollo de las cuencas hidrográficas (GOAP, 2005[a]; GOAP, 2005b; GOAP, 2006), combinan el éxito del enfoque del APRLP con las directrices de la cuenca hidrográfica. Las recomendaciones del Comité Técnico del Gobierno de la India en el desarrollo de cuencas hidrográficas y directrices comunes (GOI, 2008) reflejan ampliamente los enfoques del APRLP, en particular, lo relativo a la mejora de los sistemas de producción de micro-empresas, de los medios de vida, de la creación de capacidad y de la equidad de género. Sin embargo, algunas iniciativas, como la gestión comunitaria del agua subterránea y la ganadería, deben promoverse aún más.

8 Recomendaciones

Los programas existentes de empleo rural deberían encajar con los programas de cuencas hidrográficas para mejorar la creación de activos y la generación de empleo, además de la ampliación de las prácticas innovadoras. Más esfuerzo tiene que ser puesto en la diversificación de la agricultura y la ganadería, en la adopción de nuevas tecnologías y en las innovaciones exitosas, y hacer esfuerzos para que los agricultores de secano sean beneficiados igualmente que los agricultores que disponen de facilidades de riego. A pesar de que es una propuesta difícil en las actuales circunstancias, la adopción de la gestión comunitaria del agua subterránea en una forma universal debe ser alentada tanto como sea posible. Las intervenciones exitosas deben integrarse como un requisito en la formulación y planificación de proyectos de cuencas hidrográficas. Las instituciones a nivel de aldeas tienen que ser fortalecidas a través de la creación de capacidad de las actividades relacionadas con las cuencas hidrográficas, empleando una perspectiva más amplia. Los estudios de evaluación de impacto tienen que ser llevadas a cabo de forma regular, a fin de lograr innovaciones en la corriente principal, o realizar correcciones si fuera necesario.

REFERENCIAS

CESS, AF. SEI and APRLP. (2003) *Watershed based livelihoods approach: A policy action research programme in Andhra Pradesh*. Centre for Economic and Social Studies (CESS), Hyderabad, Accion Fraterna (AF), Anantapur and Department of Rural Development, Government of Andhra Pradesh. pp 1-20.

GOAP. (2005a) *Process Guidelines for Watershed Development*. Issued by Commissionerate of Rural Development, Government of Andhra Pradesh, Hyderabad. pp 10-30.

GOAP. (2005b) *Circular No.8/CLDP/2004*, con fecha de enero 10, 2005.

GOAP. (2006) *Memo No.19957/RD-II/A1*, con fecha de noviembre 6, 2006.

GOI. (2008) *Common Guidelines for watershed projects implementation*. Issued by Department of Land Resources, Ministry of Rural Development, Government of India, New Delhi. pp 15-40.

MANAGE. (2008) *Farmers' suicidal deaths in Andhra Pradesh state-A diagnostic study*. National Institute of Agriculture Extension Management (MANAGE). Hyderabad. pp 106-112.

TARU. (2007) *Assessing the impact of APRLP on poverty (end-term assessment) Final Report-Volume I*, submitted to Commissioner of Rural Development, Government of Andhra Pradesh, Hyderabad. pp 5-106.

Vijaya Kumar, Raidu and Paramesh shah. (2009) *Ecologically sound, economically viable: community managed sustainable agriculture in Andhra Pradesh, India*. The World Bank. Washington D.C. pp 5.

WASSAN. (2009) *APDAI-Final Report-II of the Lead Technical Agency*, submitted by Watershed Support Services and Action Network (WASSAN), Hyderabad to Commissioner of Rural Development, Government of Andhra Pradesh, Hyderabad. pp 2-85.

Un marco de cumplimiento alternativo para el manejo de aguas pluviales urbanas en la región costera central de California

VIOLETTA PRISTEL
Coastal and Watershed Science & Policy Program, California State University, EEUU
vpristel@csumb.edu

Resumen Los objetivos de la gestión de aguas pluviales y el desarrollo urbano a menudo están en conflicto. La urbanización modifica la hidrología de las cuencas, aumenta la escorrentía de aguas pluviales y los impactos de la calidad de las aguas receptoras. A los gobiernos locales, la ley estatal y federal les exige cada vez más regular las prácticas de manejo de aguas pluviales en los proyectos de desarrollo urbano para compensar estos impactos. Equilibrar la necesidad de protección del medio ambiente con la necesidad de acomodar a la población creciente y fomentar el crecimiento económico requiere de instrumentos de política para gestionar de manera costo-efectiva la escorrentía de aguas pluviales y la urbanización. Existe un creciente interés en las herramientas de cumplimiento alternativo, tales como el comercio de créditos y la banca de mitigación, para integrar la gestión de aguas pluviales y la planificación urbana en las escalas de cuenca y regional. Un enfoque de cumplimiento alternativo ofrece opciones de cumplimiento fuera del sitio que permiten flexibilidad a los municipios en el cumplimiento de los requisitos reglamentarios para apoyar la optimización del manejo de aguas pluviales, el desarrollo comunitario y la protección de recursos naturales dentro de una cuenca o región. Este artículo describe el marco legal y normativo de cumplimiento alternativo, incluida la política existente, la autoridad legal, el alcance de las opciones de comercio de compensación y de pago, y las posibles limitaciones en la implementación. El propósito de la investigación es ayudar a los municipios en la región de la Costa Central de California a evaluar la factibilidad del cumplimiento alternativo dentro de sus jurisdicciones.

Palabras clave planificación de cuencas hidrográficas; comercio de la calidad del agua; compensación por mitigación

1 Antecedentes

La Región de la Costa Central de California tiene más de 480 km de largo y 60 millas de ancho, extendiéndose desde Santa Cruz en el norte, hasta Santa Bárbara en el sur. La región cuenta con una amplia gama de climas húmedos y áridos, y es geográficamente diversa. Incluye usos de suelo urbanos y agrícolas, y zonas de hábitat como humedales, dunas, bosques, matorrales y pastizales costeros. Más de 2 millones de personas viven en la región, la mayoría de ellos en ciudades y pueblos en o cerca de la costa, y la presión del desarrollo sigue siendo una realidad constante a medida que más personas se ven atraídas a la región. La urbanización conduce a un aumento de superficies impermeables, como carreteras y estacionamientos, y aporta infraestructuras de drenaje para manejar el aumento de la escorrentía y reducir el riesgo de inundaciones. El término "hidro-modificación" describe las alteraciones del régimen hidrológico como resultado de los cambios de uso de la tierra. La combinación de impermeabilidad creciente, la eficiencia de conducción de agua, y la disminución de la cobertura permeable alteran la hidrología de una cuenca, lo que puede resultar en efectos adversos a las aguas receptoras. Los grandes volúmenes de agua pluvial que se mueve rápidamente aumentan los flujos máximos de las corrientes durante las tormentas y causan desgaste y erosión de las riberas. El aumento de la impermeabilidad reduce la recarga de aguas subterráneas y su contribución al flujo de la corriente. Las aguas pluviales urbanas recogen contaminantes tales como bacterias, metales pesados, nutrientes, pesticidas y sedimentos de una variedad de fuentes, que incluyen céspedes, tanques sépticos, carreteras e industrias, y degradan la calidad del agua. El Comité Regional de Calidad de Aguas de la Costa Central considera que la protección de cuencas, incluyendo áreas de recarga de aguas subterráneas, hábitats acuáticos y zonas ribereñas de amortiguación, tendrá el mayor impacto en la mejora de la calidad del agua en la región en el largo plazo.

A los municipios en los Estados Unidos las leyes federales y estatales les exigen cada vez más regular las aguas pluviales. El Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (NPDES, por sus siglas en inglés) fue creado en 1972 bajo la Ley Federal de Agua Limpia (Clean Water Act) para controlar la contaminación del agua de fuentes puntuales. Desde 1990, los operadores municipales deben obtener un permiso del NPDES y desarrollar un programa de manejo de aguas pluviales para evitar que los contaminantes dañinos sean lavados o vertidos en los sistemas de alcantarillado desde fuentes puntuales y no puntuales.

Las nuevas regulaciones para proyectos de desarrollo y reurbanización estarán requiriendo control de hidro-modificación y Desarrollo de Bajo Impacto (LID por sus siglas en inglés), como parte de los permisos del NPDES sobre aguas pluviales municipales. El cumplimiento de los requisitos de LID y de control de hidro-modificación gira en torno a la utilización de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) estructural y no estructural en el sitio. Los requisitos en sitio pretenden abordar los impactos acumulativos del desarrollo a escala del sitio, fomentar la restauración/protección a escala de cuenca de los procesos de pre-desarrollo hidrológico, y asegurar una distribución equitativa del sistema de gestión de aguas pluviales "quien contamina paga". Los requisitos de control de la hidro-modificación están diseñados para imitar las características de pre-desarrollo de la escorrentía de un sitio (LID, 2007). Las BMP estructurales de LID están diseñadas para capturar o retener temporalmente las aguas pluviales (por ejemplo, recolección de agua de lluvia, barriles de lluvia), infiltración de aguas pluviales (por ejemplo, cunetas de bio-filtración, pavimentos permeables), y promover la evapotranspiración (por ejemplo, techos verdes, jardines de lluvia). Las prácticas de LID no estructurales incluyen el diseño del sitio y las carreteras para reducir al mínimo las superficies impermeables, el mantenimiento de las áreas con vegetación y reducir al mínimo la perturbación del sitio.

El Cumplimiento Alternativo es un término utilizado para describir una disposición ofrecida por los municipios, la cual permite a los desarrolladores cumplir con los requisitos nuevos y de reurbanización para el control de las aguas pluviales fuera del emplazamiento de un proyecto. La flexibilidad en el cumplimiento de los requisitos reglamentarios es a menudo deseable para un municipio; esto con el fin de tener un espacio que permita a los desarrolladores que proponen un proyecto de desarrollo pagar al municipio una suma de dinero para implementar los controles de las aguas pluviales en un lugar diferente dentro de la cuenca. Los desarrolladores pueden requerir flexibilidad para lograr el cumplimiento de las normas si las BMP de LID no son factibles en el lugar, debido a limitaciones de espacio, condiciones del suelo, profundidad de las aguas subterráneas o costos de construcción. La región de la Costa Central carece de una estructura para considerar las opciones fuera del sitio del cumplimiento alternativo en los permisos del NPDES de aguas pluviales municipales. Por ejemplo, cuando las BMP en sitio no son factibles, un desarrollador puede recibir una exención de cumplimiento en lugar de pagar por una alternativa, lo que no es justo ni económico, ni tampoco avanza hacia los objetivos de calidad del agua o de restauración de una cuenca. También puede considerarse una oportunidad perdida para dirigir la protección de los recursos naturales y la restauración hacia donde está el valor más alto en la cuenca.

Este artículo describe el marco legal y normativo del cumplimiento alternativo. Los objetivos de la investigación en curso son sintetizar las consideraciones legales, ambientales, técnicas y socioeconómicas del cumplimiento alternativo para ayudar a los municipios en la región de la Costa Central de California a evaluar la factibilidad del cumplimiento alternativo dentro de sus jurisdicciones.

2 Marco legal y regulatorio

Políticas actuales de cumplimiento alternativo

Las políticas de cumplimiento alternativo que se utilizan en otras jurisdicciones en los Estados Unidos por lo general incluyen dos opciones:

- Desplazamiento en el lugar de escorrentía (denominado '*comercio de compensación*' en este documento) con medidas de tratamiento LID en un proyecto fuera de sitio. El comercio de compensación debe proporcionar un volumen de tratamiento hidráulico equivalente a la cantidad de escorrentía de aguas pluviales y a la carga de contaminantes, y lograr un beneficio medioambiental neto.
- Pago de cuotas equivalentes (denominado '*comercio basado en cuotas*' en este documento) a un proyecto regional (un tratamiento BMP que recoge la escorrentía de varios proyectos en la misma cuenca). La cuota equivalente, una forma de compensación, es la cantidad monetaria necesaria para proporcionar una parte proporcional del tratamiento de la escorrentía en un proyecto regional. Un banco de mitigación acumula la tarifa basada en "créditos" por adelantado y los hace disponibles para su compra posterior.

El comercio de crédito es un mecanismo utilizado para implementar los programas de cumplimiento alternativo y proporcionar una mitigación equivalente para compensar una exención de los requisitos de LID e hidro-modificación. El principio del intercambio de créditos de aguas pluviales es permitir que una fuente de escorrentía que pueda controlar las aguas pluviales a un bajo costo venda el control como créditos a una fuente de escorrentía en otro lugar que no es capaz de satisfacer los requisitos del sitio debido a limitaciones del lugar o viabilidad económica. La cantidad de créditos de agua pluvial intercambiados puede hacerse sobre la base de la descarga de aguas pluviales o las mejores prácticas de gestión. Los créditos también pueden ser de pago, en lugar de tratamientos de aguas pluviales no implementados en el lugar. Los programas de cumplimiento alternativos permiten que el desarrollo proceda, siempre que no haya impactos ambientales netos, y también pueden ser diseñados para lograr mejoras ambientales netas.

Autoridad legal

La Ley Federal de Agua Limpia autoriza los permisos del NPDES municipales para hacer frente a las fuentes de contaminación urbana no puntual, como la urbanización, a través de la implementación de las BPM "a la medida máxima posible" (MEP, por sus siglas en inglés) del estándar legal. La Ley de Agua Limpia también proporciona el fundamento legal para que la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Estado desarrollen programas alternativos para controlar la contaminación, y permite a los consejos regionales de agua en California incorporar las disposiciones de cumplimiento alternativo en los permisos del NPDES. El Código de Aguas de California da a las nueve Juntas Regionales de Control de Calidad del Agua en California la autoridad para proteger los usos beneficiosos de las aguas del Estado y establecer objetivos de calidad del agua. Las Juntas de Agua tienen una amplia discreción para implementar programas innovadores de protección de los recursos naturales, porque el Código de Agua de California les permite regular cualquier actividad que afecte la calidad de las aguas superficiales o subterráneas (LID, 2007).

Las dos normas clave del gobierno que apoyan el cumplimiento alternativo son la Política de Comercio de Calidad del Agua y el Memorando de Acuerdo de Mitigación. La Política de Comercio de Calidad del Agua de la EPA, apoya el comercio de compensación. La política, promulgada en 2003, pretende ofrecer un medio alternativo económicamente eficiente para alcanzar los objetivos del agua limpia, al tiempo que permite el crecimiento de la comunidad (USEPA, 2003).

La política reconoce que las diferentes fuentes de contaminación pueden tener diferentes costos para la reducción de descargas por contaminación, que las diferentes actividades tienen diferentes impactos en la economía de una comunidad y que las comunidades deben disponer de flexibilidad para cumplir los criterios de calidad del agua (Trauth y Shin, 2005). La política permite que una sola fuente cumpla con sus obligaciones reglamentarias usando las reducciones de contaminantes creadas por otra fuente que tiene menores costos de control de la contaminación, con la condición de que el comercio no pueda exceder los criterios de calidad del agua en cualquier lugar dentro de un cuerpo de agua (USEPA, 2003). La política proporciona una guía para el uso del flujo como el parámetro de comercio entre las fuentes de lluvia, lo que puede apoyar un programa comercial de compensación de las aguas pluviales para nuevos desarrollos urbanos y reurbanizaciones (USEPA, 2007).

El Memorando de Acuerdo de Mitigación de 1990 (MOA) entre la EPA y el Departamento del Ejército, según la Sección 404 de la Ley de Agua Limpia y la Sección 10 de la Ley de Ríos y Puertos, establece que la mitigación fuera de sitio es admisible si la mitigación compensatoria en sitio no es posible (ILF, 2000). Los objetivos del MOA son permitir que se diseñen los proyectos compensatorios de mitigación para sustituir los humedales y otras funciones y valores de los recursos acuáticos protegidos por las leyes, y cumplir con la meta de la no pérdida neta global de los humedales y otras funciones y valores acuáticos (ILF, 2000). La mitigación fuera de sitio puede ser realizada por el titular del permiso o por un tercero. Generalmente, la mitigación por terceros cae en una de dos categorías: la banca de mitigación y la mitigación por cuota equivalente. Los objetivos del MOA no son específicos para la mitigación de aguas pluviales; sin embargo, proporcionan un marco jurídico para el comercio basado en cuotas.

Alcance de las posibles soluciones del cumplimiento alternativo

La política de Comercio de la Calidad del Agua (WQT) de la EPA proporciona una guía para el comercio de compensación (USEPA, 2003; 2007). La Guía Federal para el Establecimiento, Uso y Funcionamiento de Bancos de Mitigación (FED, 1995) y la Guía Federal sobre el Uso de los Mecanismos de Cuota Equivalente para la Mitigación Compensatoria (ILF, 2000) proporcionan orientación para el comercio basado en cuotas. El alcance de las opciones de comercio de compensación y de cuotas se compara a continuación con las secciones clave de las guías, incluyendo el intercambio de divisas, la cuantificación de créditos, las limitaciones geográficas y los plazos de ejecución. Las guías podrán ser utilizadas por los municipios para establecer sus propios estándares específicos de cumplimiento alternativo.

El comercio de divisas y el tipo de mitigación permitida

- *Comercio de compensación:* Las unidades de comercio deben estar claramente definidas para el comercio de compensación que se produzca (USEPA, 2003). Un intercambio de divisas basado en el volumen de escorrentía estimada o superficie impermeable puede ser aceptable, aunque la política WQT sólo permite el comercio cruzado entre productos con una relación de cambio definida o establecida (USEPA, 2007). Por ejemplo, las operaciones entre la escorrentía y la zona de protección ribereña, o el escurrimiento y la zona de recarga de aguas subterráneas no serían aceptables a menos que exista información adecuada para correlacionar los impactos sobre la calidad del agua.
- *Comercio basado en cuotas*: Las divisas en el comercio basado en cuotas son las funciones de los recursos acuáticos a ser indemnizados. La guía del comercio basado en cuotas establece

una preferencia por la compensación 'en especie', pero puede permitir una compensación 'sin especie' (comercio cruzado) si se alcanza un mayor valor ecológico (FED, 1995).

La cuantificación de créditos y la equivalencia de mitigación

- *Comercio de compensación*: el comercio de compensación de créditos se basa en el impacto del comercio de divisas a través del tiempo (por ejemplo, flujo de aguas pluviales), aunque los requisitos de cumplimiento se basan en el nivel de ejecución de BMP durante ese tiempo (por ejemplo, MEP). La política de WQT recomienda la elaboración de un protocolo para establecer un nivel básico de aplicación de BMP para fuentes no puntuales de contaminación, tales como nuevos desarrollos urbanos y de reurbanización. También debe haber una capacidad de establecer el valor comercial de equivalencia, es decir, la equivalencia entre el lugar donde se hizo reducción de la contaminación (la ubicación fuera del sitio o el 'crédito de la zona de envío') y el lugar donde se usó la reducción (la ubicación en sitio o 'crédito de la zona receptora'). Se recomienda el modelado y monitoreo de la eficacia de las BMP para cuantificar los valores de crédito (USEPA, 2003). Una proporción de cambio es un factor de seguridad incorporado en una transacción, el cual pondera la misma para internalizar las diferencias espaciales y temporales entre las localidades. Una relación de cambio mayor de 1:1 puede ser utilizada para mejoras adicionales al ambiente, y para reducir las incertidumbres relacionadas con los impactos de la calidad del agua y la equivalencia de la mitigación.
- *Comercio basado en cuotas:* Para los acuerdos de cuotas equivalentes, el crédito se basa en la sustitución de las funciones de los recursos acuáticos a perpetuidad, y los créditos se evalúan mediante una estructura de tarifas. La estructura de cuotas equivalentes es generalmente una función del costo medio (incluyendo costos de operación y mantenimiento) de la construcción de instalaciones comparables fuera de sitio en la región en la que se encuentra el proyecto (ELI, 2006). Para la mitigación de aguas pluviales de escorrentía, la cuota puede ser estandarizada por unidad de escorrentía. La equivalencia de la mitigación se evalúa por la organización (por ejemplo, municipio) que está gestionando el acuerdo de cuotas equivalentes y aprobadas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército (ILF, 2000).

Ubicación de los proyectos fuera de sitio

- *Comercio de compensación:* Las ubicaciones emisoras de crédito (fuera de sitio) y las receptoras de crédito (en sitio) deben estar dentro de la misma cuenca para que se produzca el comercio de compensación (USEPA, 2003). Debido a la exigencia de la EPA de que el comercio no puede dar lugar a que las normas de calidad del agua se excedan en cualquier parte del cuerpo de agua de interés, muchos programas de comercio requieren que la ubicación fuera de sitio sea aguas arriba de la ubicación en sitio, para evitar crear una situación en la que el aumento de la descarga de contaminantes aguas arriba resulte en una violación de las normas de calidad del agua, conocida como un "punto caliente" (Trauth y Shin, 2005). Por otra parte, los programas de comercio pueden requerir la compra de créditos adicionales, o utilizar las proporciones de comercio del lugar para explicar la ubicación del proyecto en una cuenca hidrográfica (USEPA, 2007).
- *Comercio basado en cuotas:* La mitigación compensatoria para el comercio basado en cuotas consiste en la restauración/protección de los recursos acuáticos vivos que son similares a los recursos acuáticos de la zona afectada; por lo tanto, los proyectos fuera de sitio deben estar ubicados en la misma área geográfica que la zona afectada y deberán ser planificados y

desarrollados para satisfacer las necesidades de recursos específicos de una cuenca hidrográfica en particular (ILF, 2000). Los proyectos de comercio basado en cuotas pueden estar situados en terrenos públicos o privados, sin embargo, la participación del propietario privado debe ser voluntaria. (FED, 1995).

Plazos de ejecución

- *Comercio de compensación*: los créditos de compensación no deben ser utilizados antes del tiempo límite en que se generaron, y el acuerdo comercial es generalmente de cinco años de duración (EPA, 2003).
- *Comercio basado en cuotas*: Los proyectos de comercio basado en cuotas deben ser completados a más tardar dos años después de la recaudación de las cuotas. Las proporciones de comercio pueden ser utilizadas para limitar la generación de créditos de una ubicación fuera de sitio y para tener en cuenta el tiempo transcurrido entre la construcción de los proyectos de desarrollo y la realización de los proyectos de mitigación (ILF, 2000).

Potenciales limitaciones legales y reglamentarias en la aplicación del cumplimiento alternativo

Los municipios pueden asumir riesgos adicionales, responsabilidades y costos cuando implementan los programas de cumplimiento alternativo. Los programas de cumplimiento alternativo podrían señalar los desafíos legales y el grado de incertidumbre en el establecimiento de la igualdad de los sitios de comercio, aumentando el riesgo legal de la municipalidad. Por ejemplo, los municipios podrían ser responsables bajo la Ley de Especies en Peligro de Extinción por la no regular estrictamente si los programas de cumplimiento alternativo no son igualmente protectores del medio ambiente (por ejemplo, el hábitat del salmón y del arco iris). Los municipios asumen el riesgo adicional de responsabilidad usando el comercio de cuotas de reemplazo. Por ejemplo, si un municipio se compromete a construir un proyecto regional, pero es incapaz de construir dentro de un marco de tiempo permitido, corre el riesgo de incumplimiento y tendrá que devolver el dinero.

La asignación de la responsabilidad legal y financiera es una gran diferencia entre el comercio basado en cuotas y los programas de comercio de compensación de cumplimiento alternativo. En los programas basados en cuotas, la responsabilidad legal y financiera para asegurar que la mitigación sea exitosa es transferida por el pagador de la cuota (el desarrollador) a un tercero (generalmente un municipio). Una vez que un desarrollador hace la transferencia de dinero, no se enfrentan a ninguna otra responsabilidad legal o financiera (Landry, *et al*., 2005). En los programas de comercio de compensación, sin embargo, la responsabilidad legal y financiera para garantizar que las compensaciones de la calidad del agua se implementan exitosamente se mantiene con el desarrollador (Landry, *et al*., 2005). Sin la capacidad para transferir la responsabilidad, los compradores de créditos de compensación deben utilizar otros medios para protegerse del riesgo legal y financiero en caso de que el vendedor de créditos de compensación no pueda entregar la cantidad de créditos acordados en la fecha prevista. Los contratos y las garantías financieras se pueden utilizar para proteger a los compradores de créditos, pero los riesgos percibidos pueden restringir el comercio de compensación.

Un punto regulatorio clave de un programa de cumplimiento alternativo para nuevos desarrollos urbanos y de renovación es la definición de "a la medida de lo posible" (MEP, por sus siglas en inglés), el estándar legal para la aplicación de las BMP. El principio de la MEP es tomar todas las acciones que pueden ser razonablemente tomadas para prevenir la degradación de la calidad del agua desde fuentes no puntuales de contaminación. El estándar MEP representa la "línea base" para el comercio

y se define como los requisitos de control de la contaminación que se aplican a un comprador y a un vendedor de créditos en la ausencia de comercio (USEPA, 2007). La capacidad de controlar la escorrentía de una ubicación fuera de sitio (más allá de MEP) debe ser cuantificada a fin de autorizar una transacción. El estándar MEP es difícil de cuantificar y normalizar para diferentes ubicaciones, y requeriría que el valor del crédito de las opciones de comercio del cumplimiento alternativo sea adaptado a las condiciones de la cuenca.

3 Discusión final

El marco legal y regulatorio descrito en este documento sugiere que hay beneficios potenciales y ventajas y desventajas de riesgos asociados con la implementación del cumplimiento alternativo. Los programas de cumplimiento alternativo tienen el potencial de proporcionar a las comunidades un medio para alcanzar los objetivos de calidad del agua y otras metas de protección/restauración de los recursos naturales, permiten la flexibilidad de desarrollo, y facilitan la eficiencia (Thurston, *et al*., 2003). Las disposiciones del comercio basado en cuotas para la protección a perpetuidad y la mitigación compensatoria "sin especie" son compatibles con una planificación y gestión integrada de las cuencas hidrográficas, y proporcionan a los municipios una herramienta para lograr múltiples intereses y poner los limitados dólares de la gestión de aguas pluviales en uso efectivo. El comercio de compensación proporciona a los propietarios un incentivo económico para construir las BMP del LID con una mayor capacidad y eficacia que los requisitos reglamentarios mínimos, y puede fomentar innovación y costo-eficiencia.

Existen peligros potenciales al cumplimiento alternativo, como la dificultad para establecer la equivalencia (valor del comercio) entre diferentes localidades de la cuenca y el riesgo de mitigación inadecuada e impactos localizados. Por ejemplo, se ha demostrado que la banca de mitigación de humedales no responde completamente a las pérdidas de la función de los humedales y puede facilitar la pérdida de importantes servicios del ecosistema en las comunidades urbanas a rurales (Robertson, 2006). El fundamento del LID es que las aguas pluviales se manejan mejor en la fuente; direccionar la mitigación a un centro regional va en contra de este enfoque descentralizado de la restauración y protección de los procesos hidrológicos. También existen problemas con los costos de transacción asociados con la recolección y comunicación de la información (por ejemplo, la modelización), la obtención del acuerdo y la aprobación de la reglamentación (Trauth y Shin, 2005). El cumplimiento alternativo puede no ser adecuado o viable en todos los municipios, e incluso en las situaciones adecuadas, puede aumentar los riesgos, responsabilidades y costos. Los municipios de la región de la Costa Central podrían considerar ofrecer un programa de mitigación fuera de sitio si los beneficios de desempeño ambiental o de la comunidad se pueden obtener mediante el cumplimiento de los requisitos en sitio fuera del sitio.

Agradecimientos

Este trabajo es apoyado por la Junta Regional de Control de Calidad de Agua de la Costa Central de California y a la Iniciativa de Desarrollo de Bajo Impacto.

REFERENCIAS

(ELI) Environmental Law Institute. (2006) *The status and character of in-lieu fee mitigation in the United States*.

(FED) Federal Guidance for the Establishment, Use and Operation of Mitigation Banks. (1995) *Federal Register* 60 (228): 58605-58614. http://water.epa.gov/type/watersheds/trading/finalpolicy2003.cfm (acceso el 16 junio, 2011).

Landry M, Siems A, Stedge G, Shabman L. (2005) *Applying Lessons Learned from Wetlands Mitigation Banking to Water Quality Trading*. Trabajo preparado para la Office of Policy, Economics, and Innovation and Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency.

(LID) Low Impact Development Center, Maryland (2007). *A review of Low Impact Development policies: Removing institutional barriers to adoption*.

Robertson MM. (2006) Emerging ecosystem service markets: trends in a decade of entrepreneurial wetland banks. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 297-302.

Thurston HW, Haynes CG, Szlag D, Lemberg B. (2003) Controlling stormwater runoff with tradable allowances for impervious surfaces. *J. Water Resources, Planning, Management* 129 (5): 409-418.

Trauth KM, Shin Y. (2005) Implementation of the EPA's Water Quality Trading Policy for stormwater management and smart growth. *J. Urban Planning and Dev.* 131(4): 258-269.

(ILF) U.S. Department of the Army, U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Fish and Wildlife Service, National Oceanic and Atmospheric Administration. (2000) *Federal Guidance on the Use of In-Lieu-Fee Arrangements for Compensatory Mitigation under Section 404 of the Clean Water Act and Section 10 of the Rivers and Harbors Act*.

(USEPA) U.S. Environmental Protection Agency. (2003) *Water quality trading policy*.

(USEPA) U.S. Environmental Protection Agency. (2007) *Water quality trading toolkit for permit writers*. EPA833-R-07-004, Washington, D.C.

Mantenimiento, pruebas y monitoreo de la calidad del agua en los sistemas rurales de suministro de agua en Sri Lanka

W.B.G. FERNANDO Y T.W.S. PERERA
Junta Nacional de Suministro y Drenaje de Agua, Sri Lanka
agmrural@gmail.com

Resumen Los Sistemas de Suministro de Agua Rural (RWSS, por sus siglas en inglés), operados y administrados por comunidades de usuarios, han estado en existencia desde hace varias décadas en Sri Lanka. Sin embargo, muchos de ellos, al ser proyectos de obtención de agua por gravedad o por medio de fuentes puntuales en aldeas remotas, no exigían pruebas completas ni un sistema de monitoreo de la calidad del agua. Esta situación cambió drásticamente en la década de 1980, cuando muchos RWSS fueron construidos. En la actualidad hay cerca de 3,200 RWSS, que suministran una cobertura de aproximadamente 12% del agua potable. Con un número cada vez mayor de RWSS, la necesidad de contar con un mecanismo integral para el mantenimiento, pruebas y monitoreo de la calidad del agua, se hizo sentir seriamente. Muchos RWSS utilizan pozos excavados en forma superficial, manantiales, arroyos, pozos artesianos y el agua pluvial o de lluvia como fuentes de agua. Con la rápida urbanización y la industrialización, la contaminación de las fuentes de agua también está aumentando. Efectuar pruebas de calidad del agua en intervalos regulares es también una tarea importante. Sin embargo, esto está limitado debido al alto costo, al número limitado de laboratorios disponibles y a falta de atención adecuada. Un sistema efectivo de monitoreo de calidad del agua es obligatorio para lograr la sostenibilidad a largo plazo de los RWSS. La Junta Nacional de Suministro y Drenaje de Agua (NWSDB, por sus siglas en inglés) siendo la organización líder en el suministro de agua, ya ha elaborado un sistema para hacerle frente a esta situación. Unidades de Suministro de Agua Rural (RWSU, por sus siglas en inglés) a nivel distrital han sido establecidas por la NWSDB para proporcionar la asistencia y orientación necesaria al respecto. Esto incluye la orientación necesaria para mantener la calidad del agua, la facilitación de sistemas fácilmente disponibles y de bajo costo de monitoreo de la calidad del agua y pruebas efectivas de calidad del agua. Este documento describe en detalle nuevas estrategias propuestas para mantener la calidad del agua y desarrollar las pruebas y el monitoreo necesario de los RWSS.

Palabras clave Rural; Agua; Calidad; Mantenimiento; Pruebas; Monitoreo; Sostenibilidad

1 Introducción

Sri Lanka es un pequeño país en el Océano Índico, que cubre unos 64.000 km^2. Tiene una población de 20,4 millones según el censo realizado en el 2011. De esta población, el 72% corresponde a comunidades rurales. Actualmente, la cobertura de agua potable en el país es de un 86% (UNICEF, 2010), mientras que la cobertura rural es de aproximadamente de 40%. (Banco Central de Sri Lanka, 2010). Durante varias décadas, las comunidades rurales dependieron principalmente del agua subterránea de poca profundidad, extraída de pozos excavados, arroyos y otras fuentes naturales. A partir de 1980, un gran número de pozos artesianos se han convertido también en fuente de agua potable para las comunidades rurales. Durante los inicios, estas fuentes fueron utilizadas en forma individual o comúnmente compartidas entre grupos de familias, sin ningún tipo de mecanismo organizado. Los sistemas de abastecimiento de agua rural organizados comenzaron a ser operados en la década de 1980. Desde entonces, unos 3,200 RWSS han sido construidos en el país. Estos fueron mayormente provistos con la ayuda de organizaciones gubernamentales y no-gubernamentales.

La calidad del agua suministrada a través de los RWSS no fue de mucha preocupación en las etapas iniciales del establecimiento de los RWSS. Sin embargo, con el aumento del número de RWSS, y la posible contaminación de las fuentes de agua con la rápida urbanización, la calidad se ha convertido en un factor importante hoy día. Las siguientes secciones describen la importancia de

la calidad del agua y sus posibles formas de contaminación. También elaboran sobre las medidas ya adoptadas para garantizar la calidad del agua, y los mecanismos institucionales que se han adoptado para afrontar la situación.

2 Importancia de mantener la calidad del agua

El mantenimiento de la calidad del agua a un nivel aceptable en un RWSS es de vital importancia. Es la práctica habitual en Sri Lanka aceptar los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS), como requisito mínimo de la calidad del agua. Aunque es difícil responder a todas las normas de la OMS a un nivel deseado, se deben hacer esfuerzos para alcanzar el nivel permitido, por lo menos en los parámetros más importantes. Si la calidad se deteriora, los usuarios pueden no ser capaces de encontrar agua potable adecuada. Por otro lado, las inversiones realizadas para la provisión de los RWSS se perderían. Además, a pesar de que la calidad respecto a ciertas sustancias es aceptable para el consumo, en el largo plazo ellas pueden ser perjudiciales para la salud. Por ejemplo, se ha podido observar que el alto contenido de hierro y flúor ha creado serios problemas de salud en determinadas zonas rurales de Sri Lanka.

3 ¿Cómo se deteriora la calidad?

El agua por lo general puede verse contaminada en la extracción, transmisión, almacenamiento, distribución, o en su uso doméstico. A pesar que una posible contaminación en el uso doméstico está fuera de alcance con respecto a la fuente de agua, las formas y medidas de contaminación en otras instancias dependen en gran medida del RWSS. Según sus fuentes de suministro, los RWSS pueden ser:

- RWSS canalizado con una fuente superficial o subterránea de agua
- Pozo excavado en forma individual o comunal, o pozo artesiano
- Sistema de recolección de agua pluvial

Las formas posibles de contaminación de estos tres sistemas han sido resumidas en la Tabla 1. Las Figuras 1, 2 y 3 muestran un pozo excavado sin protección, los componentes esenciales de un pozo excavado con protección, y los componentes de un sistema de recolección de aguas pluviales, respectivamente.

Tabla 1 Posibles formas de contaminación del agua.

RWSS canalizado	Pozo Excavado o Pozo Artesiano	Sistema de Recolección de Agua Pluvial
Agua cruda inferior	Agua cruda inferior	Contaminación en la cuenca
Transmisión	Contaminación exterior	Almacenamiento
Almacenamiento	Tuberías ascendentes y cubetas corroídas	Grifos corroídos
Distribución	Transporte	Transporte
En el hogar	En el hogar	En el hogar

Fig. 1 Pozo excavado sin protección.

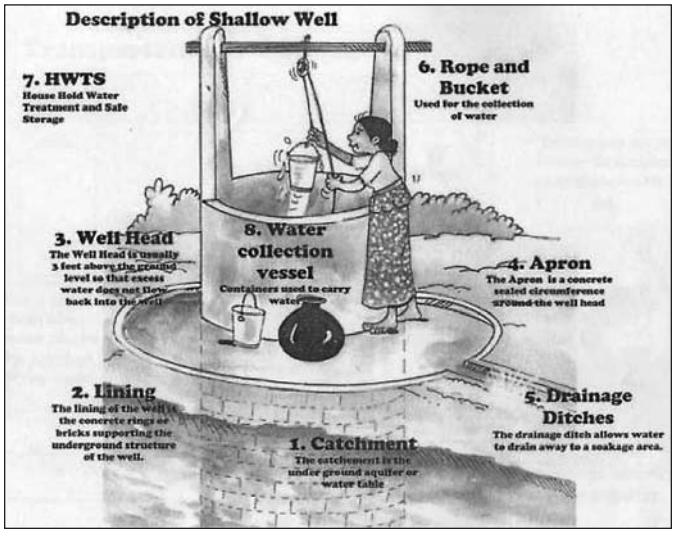


Fig. 2 Componentes de un pozo excavado con protección.

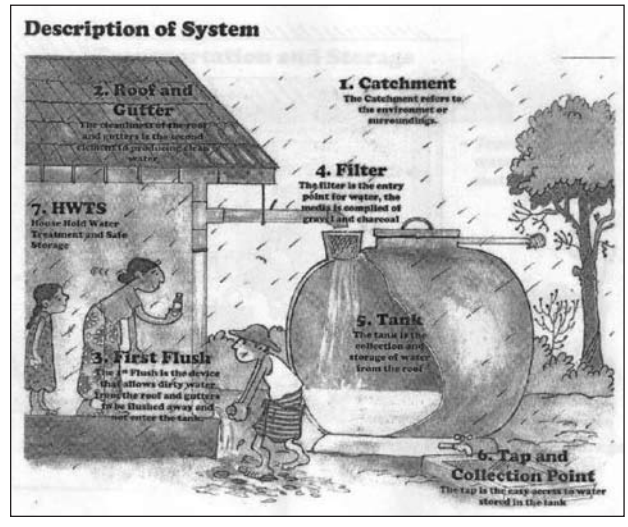


Fig. 3 Componentes de un sistema de recolección de aguas pluviales.

El agua puede contaminarse en el hogar, sin importar la fuente que utilice. La Fig. 4 muestra medidas correctivas sencillas que se pueden tomar para evitar la contaminación del agua en el hogar.

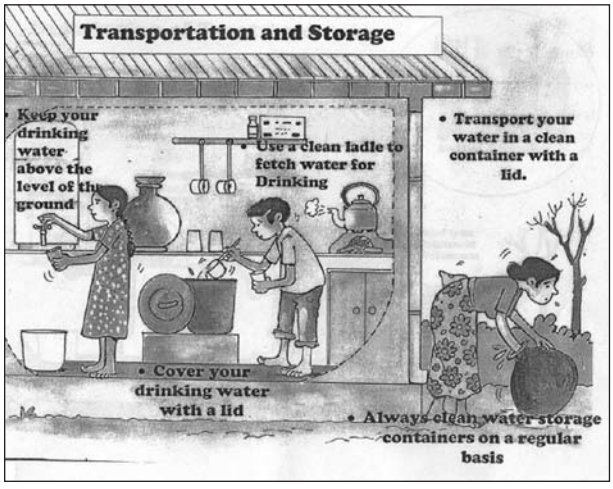


Fig. 4 Contaminación del agua en el hogar.

4 Prevención del deterioro de la calidad del agua

Los métodos para la prevención del deterioro de la calidad del agua se basan principalmente en el tipo de RWSS utilizado. A excepción de la prevención del deterioro de calidad del agua en el hogar, los posibles pasos que se pueden tomar para salvaguardar la calidad del agua en otros casos se resumen en las Tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2 Formas posibles de contaminación y propuesta de acciones correctivas para un RWSS canalizado.

Causa de la Contaminación	Propuesta de Acción Correctiva
Agua cruda inferior	Selección de una mejor fuente /tratamiento de bajo costo
Transmisión	Uso de tuberías de alta calidad / evitar fugas /atender las reparaciones con prontitud
Almacenamiento	Limpieza regular /atender las reparaciones con prontitud
Distribución	Uso de tuberías de alta calidad /evitar fugas / atender las reparaciones con prontitud / desinfección (adición de Cloro)

Tabla 3 Formas posibles de contaminación y propuesta de acciones correctivas para pozos excavados individuales o comunes.

Causa de la Contaminación	Propuesta de Acción Correctiva
Agua cruda inferior	Seleccionar un pozo mejor / tratamiento de bajo costo
Contaminación exterior	Construir un muro alrededor / plataforma de cemento
Tuberías ascendentes y cubetas corroídas	Evitar el uso de cubetas metálicas / usar tuberías ascendentes de alta calidad
Transporte	Usar cubetas plásticas

Tabla 4 Formas posibles de contaminación y propuesta de medidas correctivas para los sistemas de recolección de agua pluvial.

Causa de la Contaminación	Propuesta de Acción Correctiva
Contaminación en el lugar de captación	Limpiar el techo antes de la lluvia, drenar el agua de las primeras pocas lluvias, instalar un techo de buena calidad, instalar un filtro pequeño en la boca del tanque
Almacenamiento	Limpieza del tanque
Grifos corroídos	Usar grifos de alta calidad
Transporte	Usar cubos plásticos

5 Mecanismo institucional

La Junta Nacional de Suministro y Drenaje de Agua (NWSDB, por sus siglas en inglés) ha entendido claramente la importancia de establecer un mecanismo comprensivo para el monitoreo y la gestión de la calidad del agua, a fin de mantener los RWSS del país. La Fig. 5 muestra un modelo de una Unidad de Suministro de Agua Rural (RWS, por sus siglas en inglés) establecida en el distrito de Kegalla.

Fig. 5 Ejemplo de una Unidad de RWS.

A través de las unidades de RWS ya establecidas, las siguientes acciones serán implementadas:

a. Concienciar la comunidad sobre la importancia de la gestión de la calidad del agua y educar a sus miembros sobre sistemas sencillos caseros de tratamiento de agua, como la cloración y el SODIS (desinfección solar del agua). Una forma muy efectiva de comunicación es a través de los niños en las escuelas. Concursos de carteles, de arte, y obras de teatro también pueden

ser utilizados en este proceso. Esta campaña se facilita aún más para los trabajadores de salud a nivel comunitario, como los inspectores de salud pública y las parteras.

b. Las comunidades enfrentan graves dificultades en la verificación de la calidad del agua de los sistemas que manejan. Con el fin de superar esta situación, la NWSDB está en el proceso de fortalecer los laboratorios existentes, de establecer nuevos laboratorios anexados a sus oficinas distritales en todo el país. Esto facilitará el fácil acceso a la medición de la calidad del agua, a un costo reducido. Además, la NWSDB ha comenzado recientemente a desarrollar pruebas en un número limitado de muestras de agua para Organizaciones de Base Comunitarias (CBO, por sus siglas en inglés), sin cargo alguno.
c. La popularización de métodos sencillos de monitoreo de agua, tales como los sistemas de H_2S, entre la población rural, para así evitar incurrir en pruebas costosas.
d. Se han iniciado acciones para modificar las autoridades locales por medio de leyes, con el fin de otorgarles mayor autoridad para la protección de las fuentes de captación de los RWSS. Esto es muy esencial, porque las CBOs no están actualmente en capacidad de realizar esta tarea.
e. Generalmente, los sistemas tradicionales de monitoreo de la calidad del agua no son eficaces en los RWSS, debido a su alto costo. Por otro lado, ello se trata de una actitud reactiva, en vez de una preventiva. Por ende, la NWSDB ha iniciado la preparación de planes de seguridad hídrica para los RWSS. Esto proporcionará una herramienta poderosa para los proveedores de agua potable, para poder administrar el suministro de una manera segura.
f. El establecimiento de un sistema de vigilancia de la calidad del agua con la participación de todas las partes interesadas en el sector. Si bien las autoridades de salud encabezarán la vigilancia de la calidad del agua, todos los proveedores de servicios, incluyendo la NWSDB y las CBOs, estarán asociados al proceso. Se propone establecer comités de vigilancia del agua en distintos niveles. Este proceso ya se ha iniciado y se están estableciendo comités desde el más bajo nivel (Vigilancia de la Calidad del Agua, 2010)

6 Desafíos

Desde hace aproximadamente dos décadas, las comunidades rurales usan fuentes domesticas para sus necesidades hídricas. Entonces, la demanda hídrica era baja y el medio ambiente estaba más limpio y saludable, y por lo tanto, no había mucha necesidad de prestar atención a la calidad del agua. Sin embargo, debido a la creciente demanda y a la contaminación del medio ambiente, hoy es necesario darle un vistazo de cerca a la calidad del agua. En la implementación de los pasos anteriormente descritos para una mejor gestión de la calidad del agua, hay que enfrentar muchos desafíos:

a. Todavía la mayoría de las comunidades rurales no entiende ni acepta su importancia
b. La mejora en los servicios de salud ha reducido la necesidad de agua de mejor calidad
c. Las comunidades rurales todavía considera la calidad del agua como una responsabilidad individual, y no identifica la necesidad de unir los esfuerzos comunitarios en forma combinada
d. La mayoría de las comunidades rurales son comunidades agrícolas. Ellas consideran que el uso de pesticidas y herbicidas en sus cultivos es más importante que proteger las fuentes de agua
e. Falta un marco institucional adecuado para el monitoreo de calidad del agua
f. Falta la disponibilidad de métodos de bajo costo de tratamiento de agua, y hay un escaso conocimiento sobre los pocos métodos disponibles
g. Falta la coordinación entre las organizaciones gubernamentales responsables

h. Los hacedores de políticas tienen una pobre aceptación del rol que deben desempeñar las organizaciones no-gubernamentales

7 Recomendaciones

La demanda de agua potable segura para las comunidades rurales de Sri Lanka no se reducirá en las próximas décadas, lo que agrava la dificultad de encontrar fuentes adecuadas de agua y los fondos necesarios para proyectos suministro de agua a gran escala. Por lo tanto, el mantenimiento de la calidad del agua en los programas de RWS es muy importante. A pesar de que establecer un sistema apropiado de prueba y monitoreo de calidad del agua es un proceso difícil, esto es algo muy importante para mejorar la salud de las personas. Los desafíos descritos en las secciones anteriores no son obstáculos imposibles. Una mejor coordinación entre las instituciones gubernamentales y no-gubernamentales responsables, con el apoyo financiero necesario, sin duda traería resultados exitosos en esta gestión.

REFERENCIAS

Banco Central de Sri Lanka. (2010) *Informe Anual*.
Vigilancia de la Calidad del Agua. (2010) *Borrador de la Política*.
UNICEF. (2010) *Informe JMP*.

La Cuenca Hidrográfica de Cuyaguateje (HELP Cuba): Experiencias en gestión integrada

ZEIDA ROMERO PALMERO Y MATÍAS R. PÉREZ DUARTE
Instituto Nacional de Recursos Hídricos, Pinar del Río División Provincial, Cuba
zeida@pri.hidro.cu

Resumen La Cuenca Cuyaguateje está ubicada en la provincia Pinar del Río, en la parte occidental de la Isla de Cuba y es una de las 10 Cuencas de Interés Nacional por su importancia económica, social y ambiental, así como también por sus valores históricos y culturales. Posee una extensión de 875 km^2, con una población aproximada de 48.370 habitantes. Es la mayor cuenca de la región occidental, con alta vulnerabilidad al paso de los huracanes. A partir de 2009 forma parte de la red de cuencas HELP del Programa Hidrológico Internacional. En 1998 se creó el Consejo de Cuencas Territoriales (CCT), que constituye un instrumento del gobierno para accionar en función de los problemas de las cuencas. Entre sus funciones se encuentran: la coordinación y aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión integrada de los recursos hídricos; recomendar, coordinar y evaluar los programas de manejo integrado que combinen el uso sostenible de los recursos naturales con las actividades económicas y sociales; evaluar el comportamiento y tendencias de indicadores económicos, sociales y ambientales, para contribuir a la toma de decisiones sobre sus progresos y necesidades, así como a las vías para su mitigación o solución. Un grupo importante de proyectos y acciones se han desarrollado durante estos años, cuyos resultados revelan un comportamiento ascendente de los indicadores evaluados dentro de los 11 subprogramas de trabajo establecidos.

Palabras clave Cuenca; Cuyaguateje; experiencias; gestión integrada; ecosistémico

1 Introducción

La Cuenca de Cuyaguateje está ubicada en la provincia Pinar del Río, en la parte occidental de la Isla de Cuba, y es una de las 10 Cuencas de Interés Nacional, por su importancia económica, social y ambiental, así como también por sus valores históricos y culturales. Posee una extensión de 875 km^2, con una población aproximada de 48.370 habitantes. Es la mayor cuenca de la región occidental, con alta vulnerabilidad al paso de los huracanes. A partir del año 2009 es parte de la red HELP del Programa Hidrológico Internacional. Se caracteriza por:

- Estructura geológica compleja y litología variada. Se considera que el 60% del área de la cuenca hidrográfica se ve afectada por procesos kársticos, que son visibles en la parte alta y media de la misma.
- Varios tipos de relieve: en la parte alta y media se distinguen los mogotes y colinas con la presencia de fuertes pendientes en los lechos de los ríos, y en la parte baja el relieve es plano. La cuenca se caracteriza por tener paisajes muy particulares, donde se destaca el Sistema de Cuevas Santo Tomás, el sistema de cuevas más grande de América Latina.
- La precipitación media anual para la cuenca es de 1580 mm, y la temperatura media anual es de 25,1º C. El Río Cuyaguateje tiene una longitud de 112,4 kilómetros. Se destaca la presencia de agua subterránea en forma de manantiales.
- Desarrollo de infraestructura hidráulica. Tiene presas, una pequeña planta de energía hidroeléctrica, acueductos, y una red para monitorear variables del ciclo hidrológico, perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

2 Objetivo

Presentar los principales proyectos aplicados en la cuenca hidrográfica de Cuyaguateje cuyos resultados revelan un comportamiento de alza de los indicadores evaluados, dentro de los 11 subprogramas establecidos para la administración integrada.

3 Proyectos Desarrollados

3.1 Propuesta metodológica de una estrategia viable de la restauración ecológica de los humedales en zonas deterioradas del Sector de Cortés

Este proyecto es parte del programa de reforestación. Su objetivo es proponer una estrategia de restauración de los ecosistemas, de acuerdo con las características biofísicas de la zona de estudio, con una marcada participación popular.

Las acciones de reforestación y manejo de los bosques que se están llevando a cabo en la cuenca hidrográfica de Cuyaguateje han propiciado que la superficie cubierta por bosques (naturales y plantaciones) continúe en aumento. No obstante, el ecosistema de manglar en el sector de Cortés se encuentra en un estado de deterioro medio, siendo las especies más perjudicadas la C. erectus y la L. racemosa, debido a las actividades entrópicas que los residentes locales llevan a cabo, tales como: la tala ilegal, la producción de carbón con especies de mangle, y los contaminación con desechos sólidos dentro del área.

Samón y otros investigadores de la Universidad de Pinar del Río han desarrollado y aplicado una metodología para el manejo de estos bosques. Esta consiste en el diagnóstico biofísico en áreas deterioradas, con la participación de la comunidad. La estrategia de conservación propuesta es factible para el área de estudio, ya que contempla las características y las condiciones actuales de la vegetación del humedal y la influencia de la población local. Las actividades de recuperación del ecosistema involucran la participación de la comunidad, quien ha sido previamente educada en cuanto a la importancia de la salud del ambiente costero), y de los organismos locales competentes. Ellas se basan en el desarrollo de programas básicos como la investigación, conservación y educación, a fin de lograr la restauración de la zona.

3.2 Rectificación de cárcavas para la recuperación de suelos en la franja de bosque de protección del Río Cuyaguateje

Este proyecto es parte del programa de trabajo, mejora y conservación de suelos. Su objetivo es el de evaluar los resultados obtenidos en la rehabilitación de la franja de bosque de protección a partir de la rectificación de las cárcavas, y de proponer medidas para disminuir la aparición de nuevas.

Una de las tareas llevadas a cabo en el proyecto es clasificar las cárcavas existentes en diferentes categorías, mediana, grande y pequeña, tal como establece la metodología de Soto (2004). Entre las causas que favorecen la formación de cárcavas en la cuenca se puede distinguir el alto grado de pendientes, lo que facilita el escurrimiento superficial a una velocidad más alta, y la eliminación de grandes volúmenes de suelo. Las medidas tomadas para disminuir la formación de cárcavas incluyen:

- Utilizar cobertura muerta en los diferentes cultivos con pendientes pronunciadas
- Llevar a cabo los cultivos en contorno con pendientes (plantar siguiendo las curvas)
- Utilizar plantaciones de cobertura viva, tales como: crestas, la calabaza, el camote, frijol, etc.
- Utilizar barreras vivas en zonas con pendientes de 5%

- Utilizar solo plantaciones forestales y frutales en zonas donde las pendientes son mayores que un 30%

A partir de la restauración de este ecosistema se logró un impacto ambiental positivo en la cuenca, donde se distinguen los siguientes aspectos:

- Se atenuaron los factores contaminantes del medio ambiente, ya que el agua que llega hasta el río tiene menos partículas del suelo y otros agentes que puedan contaminarla
- Mejora y restablecimiento de la biodiversidad autóctona de la zona de estudio, donde se observa la supervivencia de especies como Gliricidia sepium, Bursera simaruba, Spondias mombin.
- Se mantiene y enriquece el medio rural y su eficiencia socioeconómica, y se crea una estética del paisaje que respeta el equilibrio de la naturaleza.

3.3 Proyecto de Colaboración Internacional Incremento de las capacidades cognitivas y técnicas de la UNAH (Universidad Agraria de La Habana) y el CENHICA (Centro de Hidrología y Calidad del Agua) en conservación de suelos y agua de la cuenca hidrográfica del Río Cuyaguateje

Este proyecto es parte del programa de trabajo, mejora y conservación de suelos. Fue planeado para desarrollarse en un período de 5 años. Los resultados parciales del proyecto han sido presentados en diferentes eventos y talleres; también, con las contribuciones logradas se han desarrollado varias tesis de Maestría en Ciencias. En el año 2009 se llevó a cabo un taller en la zona perteneciente a la parte media de la cuenca, con una notable presencia de la comunidad. En el presente año, dicho taller se llevó a cabo una vez más, como parte de las actividades para cerrar el proyecto, esta vez en un lugar distinto de la cuenca. Los objetivos del taller incluyeron:

- Ilustrar y explicar el fenómeno de la erosión y analizar los diferentes fenómenos que influyen en el proceso
- Exponer el trabajo realizado durante los años de ejecución del proyecto.
- Exponer la influencia de la precipitación como un factor de erosión en la cuenca del Río Cuyaguateje, y demostrar el efecto que tienen los cultivos en la protección del suelo.
- Llevar a cabo un intercambio abierto con los campesinos y escuchar sus planteamientos y sugerencias.

3.4 Determinación del Índice de Calidad de Agua para las aguas subterráneas en la cuenca hirdrográfica del Cuyaguateje

Este proyecto es parte del trabajo en Recursos Hidráulicos. Su objetivo es determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) en la cuenca, para conocer la calidad natural de las aguas subterráneas. La metodología aplicada es la propuesta por la Dirección de Cuencas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), que se basa en la utilizada por Gutiérrez Díaz y otros especialistas, de 1981. La escala para la determinar el grado de calidad se presenta en la Tabla 1. Para llevar a cabo el estudio se utilizó la base de datos de la Red de Calidad del Agua del INRH, evaluando los datos físico-químicos y bacteriológicos de las fuentes principales que son monitoreados en la cuenca.

Tabla 1 Clasificación de la calidad de agua de acuerdo al valor del ICA, propuesta por Gutiérrez, *et al*.

Clase	Classificación del cuerpo de agua	Valor del Índice de Calidad de Agua (ICA)
1	Excelente Calidad	90,00 a 100,00
2	Calidad Aceptable	80,00 a 89,99
3	Ligeramente Contaminada	70,00 a 79,99
4	Contaminada	60,00 a 69,99
5	Muy contaminada	50,00 a 59,99
6	Calidad Terrible	≤ 49,99

Resultados

- Parte alta de la cuenca: ligeramente contaminada, con un ICA = 77,10
- La parte media de la cuenca: ligeramente contaminada, con un ICA = 75,75
- Parte baja de la cuenca: ligeramente contaminada, con un ICA = 74,35

El estudio permitió determinar que las aguas subterráneas en la cuenca del Cuyaguateje están ligeramente contaminadas. El valor medio del ICA es de 75,56, donde un 62,5% de las fuentes analizadas constituyen aguas ligeramente contaminadas, un 25% contaminadas, y sólo un 12,5% es de calidad aceptable.

REFERENCIAS

Gutiérrez J., J. M. García, O. Beato. (1979) *Un índice de calidad para las aguas subterráneas*. Reporte del Instituto de Hidroeconomía.

Gutiérrez, J. (1981) *Mapa de la calidad de las aguas subterráneas*. Reporte de Investigación del Instituto de Hidroeconomía.

Soto, A. (2004) *Indicaciones prácticas de conservación de suelos para los agricultores*. (Ingeniería Medio Ambiental).

3. Ecohidrología para ecosistemas saludables

Biodiversidad de la Cuenca del Río Reventazón: conocimiento para la gestión

ANNY CHAVES, CARLOS GAMBOA, LUZ MARINA RODRÍGUEZ, JORGE LEIVA, ALEX MOLINA, CARLOS ARRIETA Y SUSY SEGURA
Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica
AChaves@ice.go.cr

Resumen La Cuenca del Río Reventazón está localizada en la pendiente caribeña de Costa Rica. Fue indorporada como cuenca HELP-UNESCO en 2009. Con un área de 2950 km^2, cuenta con un 59% de bosque primario. El area cuenta con una biodiversidad notable, tanto en el ecosistema terrestre como el acuático. En respuesta a la explotación de recursos hídricos, el Instituto Costarricense de electricidad (ICE) está llevando a cabo estudios biológicos para evaluar, mitigar y controlar los efectos de las varias centrales hidroeléctricas existentes (así como de las propuestas y en construcción) sobre el ecosistema. Los resultados de los últimos 10 años de estudio in dican que un 33% de la biodiversidad de costa rica está presente en la cuenca del Reventazón. Una propuesta para integrar, desde una perspectiva conservacionista, el conocimiento y la gestión de la biodiversidad en el Plan actual de Gestión de la Cuenca, se presenta en este documento.

Palabras clave biodiversdad; ma|nejo de cuencas; conservación biológica; Río Reventazón, Costa Rica

1 Introducción

La Cuenca del Río Reventazón fue incorporada como Cuenca HELP- UNESCO en el 2009. Tiene un área de 2950 Km2 y conserva en la actualidad un 59% de su área con cobertura de bosque. El río tiene una longitud en su tramo más largo, de 180 Km hasta desembocar en el Caribe. Drena la zona urbana de la provincia de Cartago en la margen izquierda, mientras que en su margen derecha se encuentra importantes áreas silvestres protegidas como el Parque Nacional Tapantí. Con relieve muy irregular, la Cuenca cubre pisos altitudinales desde el nivel del mar hasta los 3800 msnm, tiene representación de 10 zonas de vida, según la clasificación de Holdridge (Bolaños y Watson, 1993), con sitios de precipitación muy elevada (7000mm) en el sector Sur y localidades con una relativa baja precipitación en el sector Norte (1500 mm) (Rodríguez, 2007), con un distancia entre ellos de apenas 18 km en línea recta.

La conjunción de estos elementos resulta en un área de destacada biodiversidad, tanto en el componente Terrestre como en el sistema acuático, por lo que los esfuerzos para su conocimiento y gestión deben estar integrados en la estrategia de acción de la cuenca.

En función del aprovechamiento del recurso hidroeléctrico de la cuenca, realiza estudios biológicos a lo largo de la misma, a fin de valorar, mitigar y llevar un control de las afectaciones que las diferentes plantas en operación, así como los proyectos en construcción o en propuesta tienen en la biodiversidad del sistema.

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) tiene instaladas tres plantas Hidroeléctricas en la cuenca alta y actualmente construye el PH Reventazón en la cuenca media. Con el objetivo de mantener un monitoreo de las condiciones ambientales de la cuenca, el ICE realiza estudios que incluyen aspectos bióticos, sociales y de calidad de agua en las áreas de influencia de estas plantas y proyectos, al mismo tiempo que coordina las acciones necesarias de gestión con la Comisión de Manejo de la Cuenca del Reventazón (COMCURE).

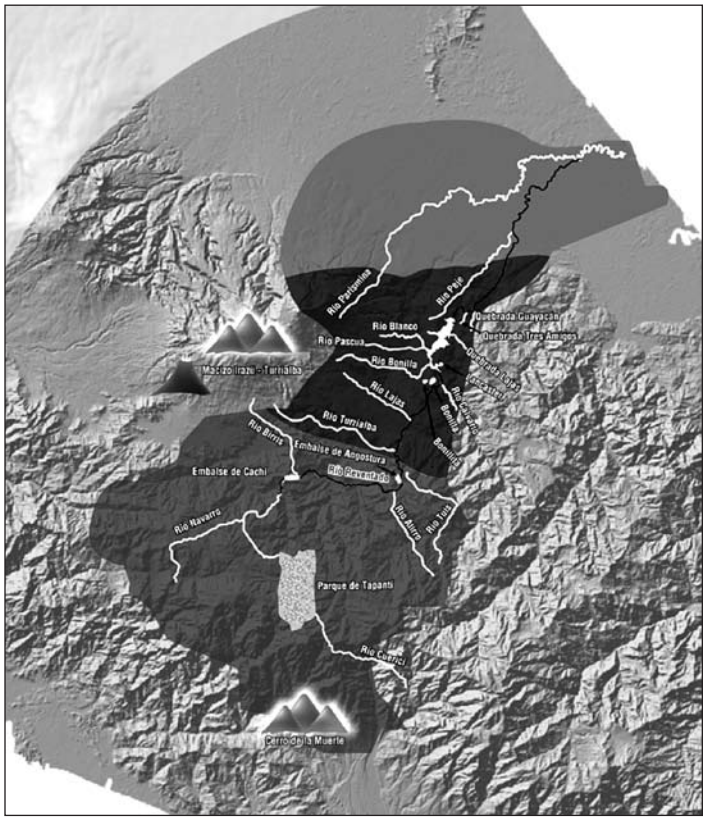


Fig. 1 Cuenca del Río Reventazón.

2 Metodología

Estudios biológicos realizados en los últimos 10 años en la Cuenca del Río Reventazón, han permitido la documentación de la riqueza biológica tanto en especies presentes en el sistema acuático y como de la fauna terrestre relacionada al río (Segura 2006, Chaves y Gamboa 2008)

Los estudios fueron realizados en 25 sitios de muestreo distribuidos en una franja de 500 m de ancho y a lo largo del Río, desde la desembocadura y sector estuarino hasta los 1100 m de altitud, aguas arriba del embalse de Cachí. Los sitios de muestreo están relacionados a las áreas de influencia de los proyectos y plantas hidroeléctricas del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). También se incluyen las especies documentadas durante el rescate de fauna en el llenado del embalse de Angostura (Barrantes et al, 2000), las especies identificadas en los estudios de monitoreso de las Plantas Cachí y Angostura y las especies recolectadas en la limpieza de terrenos para las obras del PH Reventazón, actualmente en construcción. Para los muestreos de vertebrados terrestres se realizaron recolectas y observaciones diurnas y nocturnas. La identificación se realizó con las guías de campo existentes para Costa Rica en cada grupo (Stiles y Skutch 1998, Savage 2002, Carrillo et al 199) Para las colectas de peces se utilizaron diferentes artes de pesca, incluyendo redes tipo chinchorro, atarrayas, y electropesca, la identificación se realizó con base a Bussing (1998) y las listas se actualizan en su nomenclatura de acuerdo a la base de datos de fishbase (www.fishbase.org). Para los macroinvertebrados acuáticos se realizaron colectas utilizando una red tipo D en los diferentes afluentes y en los mismos sitios muestreados para el estudio ictiológicos en el cauce principal. La identificación se realizó utilizando

claves especializadas para la región y para el país. Por no estar finalizada la identificación a nivel de especie, no se incluye en este artículo la información de macroinvertebrados, solo se presenta la información a nivel de taxa que se utilizó par la determinación del índice de calidad BMWP-CR.

Desde 2006 se realiza un control mensual de calidad de agua con el monitoreo de 18 parámetros, inicialmente en dos estaciones y se ha llevado a cinco estaciones de muestreo (1 en cuenca alta, dos en cuenca media y uno en cuenca baja). Para el análisis se utilizó el Índice de Calidad del Agua (ICA), comúnmente llamado ICAFNS, desarrollado en 1970 por la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos de América (FNSEUA), el cual puede ser usado en la determinación de la calidad del agua de un río en un período de tiempo y poder comparar la calidad del agua en distintos puntos de un mismo río. Este ICA se compone de 9 parámetros físico-químicos y bacteriológicos. (Deininger,R. 1980) para los sitios del P.H. Reventazón se aplicó un ICA modificado en donde se toma en consideración sólo 6 parámetros físico – químicos. Porcentaje de saturación de oxígeno, pH, DBO, fosfatos totales, nitratos y sólidos totales.

En forma complementaria se utilizó el trabajo de Segura (2006) en el estudio de avance para la factibilidad del PH Reventazón, donde se aplicó el índice **BMWP'CR,** basado en la composición de las comunidades de invertebrados acuáticos y sus características como indicadores de contaminación para algunos afluentes y puntos en el cauce principal del Río Reventazón. Como parte de los estudios biológicos del EsIA del PH Reventazón, se realizaron muestreos de invertebrados acuáticos en enero y febrero del 2008 y se utilizó la información para aplicar este mismo índice a los mismos sitios que se utilizaron para el estudio de peces.

3 Resultados

La Fauna terrestre documentada revela que la cuenca del Reventazón sostiene al menos un 33% de la biodiversidad de vertebrados terrestres de Costa Rica (cuadro 1), habiéndose contabilizado hasta el momento, un total de 501 especies. La Cuenca media destaca en una mayor diversidad en casi todos los grupos, sin embargo, es importante tomar en cuenta que por la ubicación del PH Reventazón en este sector, se ha realizado un esfuerzo mayor de estudio, así mismo, la información proveniente de los resultados de colecta por rescate de fauna en las obras constructivas adiciona cada día especies que son difíciles de observar en muestreos tradicionales.

Tabla 1 Número de especies de fauna terrestre por grupo, documentada para la cuenca baja, media y alta del sistema del Río Reventazón y su relación con respecto a la diversidad del país.

GRUPO	CUENCA BAJA	CUENCA MEDIA	CUENCA ALTA	TOTAL SP REVENTAZÓN /SP EN COSTA RICA*	%
ANFIBIOS	12	41	20	45/ 178	25
REPTILES	29	32	35	57/ 228	25
AVES	158	218	189	338/ 864	39
MAMIFEROS	34	54	29	64/ 236	27
				501/1506	33

Fuente: para Reventazón elaboración propia, para Costa Rica*, INBIO (http://www.inbio.ac.cr).

La riqueza de aves y mamíferos está asociada en la cuenca a la diversidad de zonas de vida, a la gran variedad de recursos relacionados con la cobertura de bosque en las zonas cercanas al río y a la posibilidad de conectividad entre las áreas silvestres existentes, lo que también facilita los movimientos altitudinales de muchas de estas especies.

Para los anfibios y reptiles, la condición y relación de existencia entre cuerpos de agua y vegetación es una situación determinante de la diversidad. La cuenca media del Reventazón representa condiciones de muy alta diversidad y alberga el 91% de los anfibios reportados en toda la cuenca, es de destacar el sitio de Quebrada Guayacán, en el PH Reventazón, con 31 especies de anfibios que representa el 68% de los anfibios de la cuenca. En el sistema del Río Reventazón se han documentado un total de 84 especies de peces, de las cuales 22 especies son marinas y solo se les encuentra en la condición del estero, las restantes 62 especies son propias de sistema dulceacuícola. El hábitat estuarino (48 sp) y la cuenca baja (47 sp) son los que representan la mayor diversidad, con muchas especies compartidas. Esta es la parte del sistema que no está seccionado por la presencia de represas, pero si recibe el impacto anual de las maniobras de limpieza de los embalses, sin embargo, la gestión ambiental de las actividades de producción de energía y las acciones de manejo que se realizan en la cuenca para disminuir la producción de sedimentos, han favorecido en el control y mitigación de los impactos en el sistema acuático.

La cuenca media (29) y alta (19 sp), tienen menor número de especies, afectado por la condición de disminución de temperatura del agua y por la presencia de las dos represas y sus respectivos embalses. Si bien no se practica una pesca comercial de las especies del río, algunas especies de peces son muy importantes como pesca deportiva y de autoconsumo. Tal es el caso la machaca (*Brycon guatemalensis*), el tepemechín *Agonostomus monticola* y el pez bobo *Joturus pichardi*, el cual es todo un ícono de la región, por ser el favorito de la poblaciones cercanas al río. En el sistema estuarino se da la pesca deportiva del sábalo (*Megalops atlanticus*) y la pesca de subsistencia de varias de las especies marinas. Se reporta la presencia de especies exóticas que son criadas en cultivos y que han escapado al sistema natural como la trucha arco iris *Oncorhinchus mykiss* en la cuenca alta, las tilapias (Oreochromis niloticus y Tilapia mosambica) en todo el sistema y los plecóstomos en la zona de los canales, posiblemente liberados de acuarios.

A pesar del desarrollo urbano y las actividades agrícolas existentes, los niveles de calidad del agua del cauce principal muestran una condición aceptable, los parámetros analizados mensualmente se mantienen en los estándares de calidad. Al utilizar algunos de ellos para la aplicación del ICA modificado, como se observa que el ICA varía durante el año entre 81,66 y 90.66, lo que se relaciona en general con aguas de buena calidad, pero que pueden ser mejoradas a una condicionen de excelente, como se observa ocasionalmente. Las características de turbulencia y energía del Río explican esta condición en el cauce principal.

Los resultados de los estudios con indicadores biológicos permiten valorar más allá del momento de una muestra, ya que la composición de las poblaciones de invertebrados, permite concluir sobre las condiciones a las que han estado expuestos. Según los resultados de Segura (2006) y Chaves y Gamboa (2008) con indicadores biológicos de contaminación, los sitios de muestreo ubicados en la restitución de la casa de máquinas de la planta de Cachí, en la planta de Angostura, muestran un valor BMWP'CR de 96 y 79 respectivamente, que corresponde al color verde, lo que se interpreta como aguas de calidad regular con contaminación moderada. Para el tramo de la cuenca media, donde se ubicará el embalse y el sitio de presa del PH Reventazón, el índice presentó valores de 51 y 60 respectivamente, lo que revela una condición amarilla, lo que se interpreta como aguas de baja calidad y en categoría de contaminadas. Las muestras de los afluentes al embalse del PH Reventazón (río Bonilla, Q. Lajas y Q. Rubio) presentan una condición verde. Las Quebradas Sibon, Tres Amigos y Guayacán que se ubican en la cuenca media, aguas abajo del sitio de presa tienen un valor entre 103 y 122, a lo que corresponde categoría celeste, la cual es una condición muy buena. La Quebrada Rivulus, ubicada en el PH Reventazón fue la única en condición azul (valor 149), la cual es de calidad excelente. Los tramos que presentan la condición amarilla son las zonas pobladas de la cuenca baja, donde además hay actividad agrícola y ganadera en las orillas del río.

Los sitios que presentaron las mejores condiciones son los afluentes que se muestrearon en la parte alta, observándose un leve deterioro al acercarse a los centros de población. Los tramos del cauce principal a la altura de la Florida (Sitio de Presa) presentan una condición naranja, así mismo el sitio de muestreo cerca de la población del Carmen (Cuenca Baja). Esta condición es catalogada como aguas contaminadas de mala calidad. La calidad del agua fluctúa, mejora o se deteriora según el estado de los afluentes, así después de revelar una condición bastante crítica en la Florida, las características se recuperan después de recibir las aguas de quebradas de buena calidad como la Rivulus, Sibon, Tres Amigos y Guayacán. De nuevo la calidad se deteriora cuando pasa por el Carmen (sitio el Cocal).

Los valores para el ASPT revelan que la mayoría de los sitios presentan comunidades heterogéneas con comunidades tolerantes e intolerantes a la contaminación, unos pocos sitios presentan comunidades homogéneas poco tolerantes a la contaminación, donde se destaca la quebrada Guayacán en su confluencia con el Reventazón y otros más presentan comunidades homogéneas tolerantes a la contaminación.

4 Conclusiones y propuesta

El nivel de riqueza biológica del Reventazón es un mérito para su declaración como cuenca HELP, pero a la vez es un compromiso y una responsabilidad del país (y del ICE) asegurar esa condición ambiental a pesar de la intervención que se hace del sistema acuático al utilizar el recurso hidráulico para mantener el sistema eléctrico nacional.

La existencia de la comisión de cuenca del Reventazón (COMCURE), en la cual participan entidades gubernamentales, organizaciones comunales, universidades y el ICE, permite la coordinación de acciones para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la cuenca y el monitoreo de diferentes aspectos ambientales. En 10 años de actividad de COMCURE ya ha sido posible demostrar los beneficios en la mejora de la cobertura boscosa y uso del suelo (Campos, C. 2010) de igual manera, al contar con una línea base sobre el estado de la biodiversidad y calidad del agua, es posible monitorear el impacto de otras acciones directas en la calidad de hábitat. Se propone iniciar una campaña de restauración de la vegetación de las riberas, y acciones de manejo de hábitat que incorpore las comunidades que trabajan con COMCURE, con el objetivo de incrementar el nivel de conectividad a través de corredores a la orilla de los ríos, así mismo, que estos corredores sirvan de barrera para el transporte de sedimentos y contaminantes. La información de biodiversidad que se tiene al momento, es un punto de partida para el monitoreo y control de cambio en las condiciones de hábitat. Las Instituciones miembros de COMCURE como el ICE, las Universidades Estatales y las organizaciones no gubernamentales que trabajan en la zona, tendrían a cargo la investigación y monitoreo de las condiciones ambientales.

REFERENCIAS

Barrantes, R., A.Chaves y F. Aguilar. (2000) *Informe de Rescate de Fauna del PH Angostura*. Instituto Costarricense de Electricidad.

Bolaños R. y V. Watson (1993*) Mapa Ecológico de Costa Rica Según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L. R. Holdridge. San José*, Costa Rica. Centro Científico Tropical- Instituto Geográfico de Costa Rica.

Bussing, W.A. (1998) Peces de las aguas continentales de Costa Rica, 2 ed. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Chaves, A y G. Gamboa. (2008) Diagnóstico Biológico para el PH Reventazón. En Carías D (ed). *Estudio de Impacto Ambiental del PH Reventazón*. ICE

Campos, C. (2010) Análisis de los Cambios de Cobertura de la Cuenca Alta y Media del Río Reventazón, Costa Rica, Período 2000-2010. *Tesis de Licenciatura*. Escuela Ingeniería Forestal. ITCR

Carrillo, E, Wong, G y J.C. Sáenz. (1999) *Mamíferos de Costa Rica*. San José, Costa Rica. Editorial INBio.

Deininger, R.A.(1980) A water quality index for rivers.Wat. Int. September: 16-21

Rodríguez, CR. (2008) Diagnóstico Aguas Superficiales. En D. Carías(ed). *Estudio de Impacto Ambiental del PH Reventazón*. ICE

Savage, J.M. (2002).The amphibians and reptiles of Costa Rica. Chicago, USA. The University of Chicago press.

Segura, S. (2006) Caracterización Biológica del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. En: A. Vargas (ed) *Informe de Avance a la Factibilidad del P.H. Reventazón*. Documento interno. Instituto Costarricense de Electricidad.

Stiles, F.G y A. Skutch. (1998) Guía de aves de Costa Rica. 2 ed. San José Costa Rica, Editorial INBio.

Villalobos J y Rodríguez L. (2003) Diagnóstico de biología del AP y AID de la Línea de Transmisión Cachí -Angostura, *Informe técnico para formulación del Plan de Gestión Ambiental UEN Proyectos y Servicios Asociados*, Instituto Costarricense de Electricidad, 38 pp.

Degradación ecológica de humedales de marisma debido al cambio climático global y a las perturbaciones humanas en el noreste de China

DEMIN ZHOU Y XIAOJUAN LI
Facultad de Recursos, Medio Ambiente y Turismo, Universidad Normal de la Capital, Distrito Haidian, Beijing, China
deminzhou@yahoo.com

Resumen Este artículo describe un estudio de caso sobre la ecohidrología de humedales de marisma en la parte noreste de la Planicie de Sanjiang en China. En esta zona, el noventa por ciento del paisaje de marisma en el área de estudio se ha perdido en los últimos 30 años. El enfoque integrado empleado en este estudio se centró en la relación entre las pérdidas de humedad del suelo y las características de los hábitats de plantas de humedal, utilizando técnicas de teledetección. Basándose en las conclusiones de este estudio, investigadores han podido predecir las posibles consecuencias ecológicas causadas por la alteración hidrológica debido a la extensa extracción de recursos hídricos en la zona. Una distribución predominante de comunidades típicas de marisma en la zona de saturación anual se reduce en la distribución más amplia de pradera húmeda en la zona de saturación estacional, y luego es reemplazada por una distribución predominante de pradera húmeda con menos marismas en la zona sin saturación anual. Los ecosistemas naturales son significativamente alterados por la actividad humana más que por el cambio climático. Este estudio ha demostrado que es posible llevar a cabo una evaluación espacio-temporal de los humedales y desarrollar estrategias basadas en el conocimiento, las cuales pueden ayudar a mantener los humedales saludables, o a reparar los ecosistemas de humedales afectados por los cambios globales y regionales.

1 Introducción

"Los humedales son extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no excede de seis metros" (Convención de Ramsar, 1971). Los humedales proveen un servicio ambiental como hábitat de vida silvestre en peligro de extinción. Por lo tanto, se han descrito como un "área de almacenamiento de genes naturales" (Mitsch y Gosselink, 1986). La continua pérdida de humedales de marisma y su degradación ecológica ha recibido mucha atención por parte de los científicos. Dentro de La Planicie de Sanjiang, más del 80% de los humedales de marisma se han perdido en los últimos 50 años (Liu, *et al*., 2004). La pérdida de estos se relaciona principalmente con actividades agrícolas locales extensivas, especialmente la reclamación de tierras que fragmenta el humedal. Aunque la mayoría de la superficie restante está protegida como reservas naturales, el hábitat de humedal todavía enfrenta una multitud de amenazas que entrañan la pérdida irreversible de la biodiversidad (Liu, *et al*., 2002).

Los ecohidrologos desean comprender y analizar la correlación entre la ecología y la hidrología de las zonas ribereñas (Rodríguez, 2000; Acremanm, 2001). Para enfrentar las amenazas a los ecosistemas de humedales de marismas, ocasionadas tanto por intervenciones humanas como por el cambio climático global, se presenta un estudio de caso sobre la ocurrencia de degradación en humedales de marisma en los últimos 30 años. Se llevó a cabo un análisis eco-hidrológico integrado para obtener un mejor entendimiento sobre la pérdida de humedad característica en el hábitat de las plantas de humedal, a partir del cual los investigadores puedan predecir las posibles consecuencias ecológicas causadas por la alteración hidrológica (Zhou, *et al*., 2006). En última instancia, una mejor evaluación de los humedales, así como estrategias basadas en el conocimiento, pueden ser empleados

para conservar humedales saludables, o para recuperar los ecosistemas de humedal afectados debido a los cambios globales y regionales (Capon, 2005).

2 Materiales y Métodos

El área de estudio de esta investigación se encuentra en la parte noreste de la Planicie de Sanjiang, una extensa llanura entre tres grandes ríos: el río Heilong, el río Songhua y el río Wusuli. Las crecidas generalizadas por las inundaciones son estimuladas por una red de canales cruzados en el gradiente topográfico bajo de la zona (un grado de pendiente media de menos de 1:10.000). El área de estudio abarca 2.416 km^2. Rodeado por tres granjas de la zona, la Reserva Natural Nacional de Honghe (HNNR) está en la lista de humedales de importancia internacional por ser un humedal terrestre típico y un ecosistema de agua dulce en la zona templada del hemisferio norte.

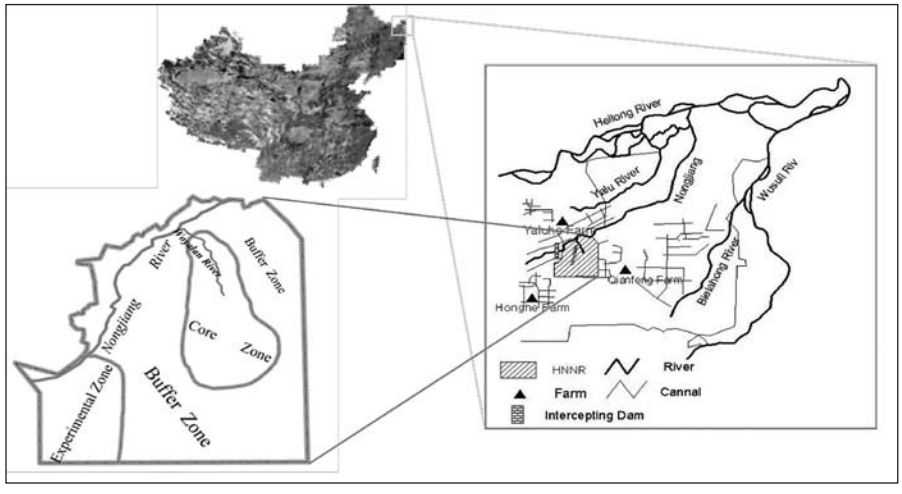


Fig. 1 Posición geográfica de la Reserva Natural Nacional de Honghe, en China.

Se adquirieron una imagen Landsat MSS libre de nubes y dos de Landsat TM 7 para la zona de estudio, correspondientes a las temporadas de crecimiento en 1975, 1989 y 2006. Un mapa de contorno original que cubre la HNNR a escala 1:10.000, con intervalos de 1 metro altura, se utiliza para la generación de un DEM. Los datos sobre el clima desde 1982 hasta 2002 en Honghe se originaron en una estación meteorológica mantenida por la Estación de Campo de Ecología de Humedales de la Academia China de Ciencias, así como en la Granja Honghe, 17 km al suroeste de la HNNR. De los anuarios estadísticos de las granjas locales se recabó los datos estadísticos para el área de tierras de cultivos y la superficie de arroz, desde 1966 hasta 2002.

El mapeo de la clasificación regional en las fechas específicas se llevó a cabo utilizando la plataforma de Erdas 8.6, para interpretar las imágenes TM pre-procesadas mejoradas con composiciones en color. Una red digital de ríos y la delimitación por sub-cuenca se generó a partir de la cuadrícula DEM, mediante la utilización del módulo de análisis hidrológico en ArcGIS 9.2. Toda la información digital descrita se validó con puntos de GPS y el mapa de apoyo. Dentro de la HNNR se realizó un análisis hidro-ecológico mediante la vinculación de las composiciones de 13 comunidades de humedales con las dos zonas hidro-geomorfológicas. Luego se cotejaron los patrones de paisaje de humedales con las zonas de régimen hídrico para los otros análisis hidro-ecológicos en la HNNR (Zhou, *et al*., 2008).

3 Resultados y Discusión

El noventa por ciento del paisaje de marisma se ha perdido en el área de estudio en los últimos 30 años. La mayoría de las zonas pantanosas se han reclamado para convertirlas en las tierras de cultivo. El reclamo de áreas de humedales ha sido más lento a partir de 1989, mientras que una gran superficie de tierras secas de cultivo ha sido convertida en campos de arroz con el apoyo de un extenso sistema de riego. Estas redes de riego en las tres granjas colindantes alteraron las condiciones hidrológicas que se requerían para mantener los humedales de marismas en la HNNR, y por lo tanto, más del 50% de dichos humedales se han convertido en paisajes de pradera debido al hábitat vegetal más seco, desde 1975 hasta 2006.

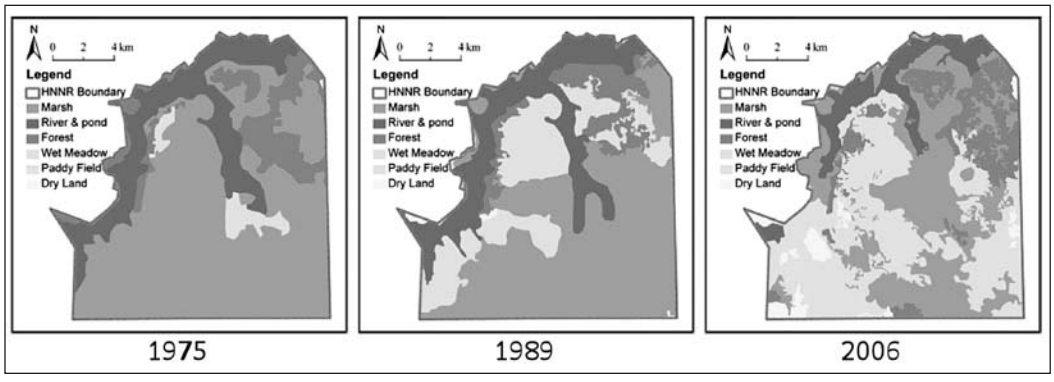


Fig. 2 El cambio del paisaje de humedales en la HNNR en los últimos 30 años.

Los resultados de la investigación ecohidrológica muestran que la distribución de los tipos de vegetación de los humedales sigue un patrón específico a lo largo de un gradiente hidro-geomorfológico en la HNNR. Los patrones espaciales de distribución de la vegetación coinciden muy bien con la distribución de humedad del suelo debido a una respuesta ecológica natural. La distribución predominante de las típicas comunidades de marismas en la zona perennemente saturada se reduce a una más amplia distribución de las praderas húmedas en la zona saturada estacionalmente, y luego es reemplazada por la distribución predominante de la pradera húmeda con menos marismas en la zona perennemente insaturada (Zhou, *et al*., 2008). Dentro de la HNNR, la disminución de la frecuencia de las inundaciones, tanto como su extensión, hace disminuir el gradiente de humedad a lo largo del gradiente geomorfológico, que disminuye la zona de hábitats de pantano que tienen una humedad adecuada. En consecuencia, a lo largo del gradiente geomorfológico de expanden plantas no típicas de humedal, sustituyendo plantas típicas de humedal. La distribución típica de pantanos, en consecuencia, se ha reducido a limitados cursos de río poco profundos, o a tierras bajas.

Una regresión lineal de los datos anuales de temperatura media muestra que la temperatura local se calienta a un ritmo de 0,374° C cada 10 años desde 1982. La aplicación de un método similar indica que la precipitación anual local ha disminuido a un ritmo de 2,039 mm por año en los últimos 20 años. Los ecosistemas naturales son alterados de manera significativa por la actividad humana más que por el cambio climático. Los datos estadísticos de las granjas locales muestran que se ha dado un aumento de 10 veces en la superficie de cultivo, y cerca de 40.000 veces en la superficie de arroz cultivada desde 1996 (Zhou, *et al*., 2009). En las llanuras de Sanjiang, todas las granjas locales han establecido redes de riego sistemático, que en gran medida alteran el sistema natural de agua. Embalses o diques limitan los suministros de agua de los ríos hacia los humedales. No sólo se truncan

las relaciones hidráulicas entre los humedales, ríos y lagos cercanos, sino también las fuentes de agua para el humedal de toda la cuenca son interrumpidas por las obras de riego, tales como presas, canales y diques utilizados para el control de inundaciones. Algunos datos limitados, producto de la observación, indican que en la HNNR ha habido cambios significativos en las aguas subterráneas poco profundas en los últimos años. Los datos de monitoreo indican una reducción anual media de 6 cm en el nivel de las aguas superficiales en el área central desde 1993 hasta 2002, así como una reducción media anual de 80 cm del nivel de agua subterránea desde 1997 a 2002 (Zhou, *et al*., 2006).

4 Conclusiones

Hay dos tipos de crisis ecológicas en hábitats de humedales de marisma presentes en la Planicie de Sanjiang. En primer lugar, la mayoría de los hábitats de humedales de marisma se han perdido debido al reclamo de tierras locales para fines económicos, y esto ocurre constante y visiblemente. En segundo lugar, la falta de recursos hídricos está causando la degradación de los humedales de marisma, que se transforman en humedal de pradera, debido tanto a las actividades agrícolas como al cambio climático global. Este proceso es lento, recesivo, y ocurrirá continuamente a menos que las intervenciones humanas se detengan y la tendencia del cambio global se revierta. El cambio climático proporciona un estrés adicional a la degradación de los ecosistemas de humedales. Las intervenciones humanas, sin embargo, aceleran la degradación de manera significativa. La degradación de los humedales de marisma se magnifica cuando esta se combina con factores naturales. Es necesario que investigaciones adicionales se concentren en mejorar la comprensión de los procesos de degradación del ambiente relacionados con los regímenes hidrológicos alterados por factores naturales y humanos.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado tanto por el Proyecto High-Tech Nacional 863 de China (2007AA12Z176) y la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China (NSFC40871241), otorgadas al Dr. Demin Zhou. Ambos, la Estación de Investigación Nacional Sanjiang de Ecología de Humedales y la Reserva Natural Nacional Honghe dieron su valioso apoyo a la investigación mediante la provisión de instalaciones en nuestro trabajo de campo.

REFERENCIAS

Acremanm, C. (2001) *Hydro-ecology: Linking Hydrology and Aquatic Ecology*. IAHS Publ.

Capon, S.J. (2005) Flood variability and spatial variation in plant community composition and structure on a large arid floodplain. *Journal of Arid Environments* 60: 283-302.

Liu, H.Y., Zhang, S.K. y Lu, X.G. (2004) Wetland Landscape Structure and the Spatial-temporal Changes in 50 Years in the Sanjiang Plain [J]. *ACTA GEGGRAPHICA SINICA* 59(3): 391-400.

Liu, X.T. y Ma, X.H. (2002) *Natural Environmental Change and Ecological Protection in the Sanjiang Plain*. Beijing: Science Press, China. 135-151pp.

Mitsch, W.J. y Gosselink, J.M. (1986) *Wetlands*. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc.

Ramsar Convention. (1971). Disponible en: http://www.ramsar.org/key_conv_e.htm.

Rodriguez, I. (2000) Eco-hydrology: a hydrological perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Wat Resour Res* 36: 3-9.

Wheeler, BD. (1999) Water and plants in freshwater wetlands. En: Baird, A.J. & Wilby, RL. (eds.), *Eco-Hydrology: Plants and Water in Terrestrial and Aquatic Environments*. 127-180. Routledge: London and New York.

Zhou D., Gong H., Liu Zh. (2008) Integrated wetland ecologic assessment of environmental condition in water catchments: Linking hydro-ecological modelling and Geo-information techniques. *Ecological Modeling* 214: 411-420.

Zhou D., Gong H., Luan Zh., Hu J., Wu F. 2006. Spatial Patterns of Water controlled Wetland Communities in the Sanjiang Floodplain, Northeast China. *Community Ecology* 7(2), 223-234.

Zhou D., Gong H., Wang Y., Khan S., Zhao K., (2009). Study of Driving forces of Wetland Degradation in the Honghe National Nature Reserve in the Sanjiang Floodplain, Northeast China. *Environmental Modeling & Assessment* 14:101-111.

Modelación del flujo de agua subterránea utilizando trazadores químicos en una micro cuenca: Gamboa, Cerro Pelado, Canal de Panamá

ERICK VALLESTER, EUCLIDES DEAGO, JOSÉ RODRÍGUEZ Y JEIMI CERRUD
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá
erick.vallester@utp.ac.pa

Resumen Las operaciones del Canal de Panamá dependen de la cantidad de agua que fluye hacia su cuenca hidrográfica y del buen control de los niveles de agua de los Lagos Gatún y Alajuela. Para estimar la cantidad de agua efectiva disponible para el funcionamiento del Canal de Panamá, es importante establecer los flujos de agua subterránea y las interacciones entre las aguas superficiales y los acuíferos subyacentes. Para tal fin, durante la estación seca monitoreamos una micro cuenca de 1 hectárea, en el área de Cerro Pelado, para determinar el comportamiento de los flujos de agua subterránea en la zona no saturada. En este trabajo se presentan los resultados de mediciones de campo obtenidos con sensores de temperatura/conductividad y humedad del suelo; de igual forma, se presenta la modelación matemática del flujo de agua subterránea aplicando Hydrus 2D/3D. La velocidad del flujo de agua subterránea estimada con los datos de campo, en condición de saturación del suelo, fue de 0,07094 m/h. Con los resultados de campo y las condiciones iniciales y de límite se realizaron varias corridas del modelo, que representaron con precisión la dirección de flujo y la velocidad dentro de esta parcela de estudio, mediante el uso del método de elementos finitos en MATLAB, para complementar los resultados previamente obtenidos por el HYDRUS 2D. Los resultados obtenidos en este estudio permiten entender mejor cómo se comporta el agua subterránea en un bosque húmedo tropical. Para tener un panorama completo del flujo del agua que ingresa a una cuenca es necesario incorporar variables como la evapotranspiración.

Palabras clave Canal de Panamá; aguas subterráneas; zona no saturada; modelación matemática; HYDRUS 2D/3D

Modelación de la desnitrificación biológica del agua usando paja canalera (*Saccharum spontaneum*) como fuente de carbono

EUCLIDES DEAGO[1], GONZALO PIZARRO[2] Y ERICK VALLESTER[1]

1 Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
euclides.deago@utp.ac.pa

2 Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

Resumen La contaminación de las aguas subterráneas con nitrato es un problema producido principalmente por el uso excesivo de agroquímicos. Para enfrentar esta situación, en los últimos años se ha estudiado la desnitrificación biológica (DB) de nitrato usando Sustratos Sólidos Orgánicos Naturales (SSON) como fuente alternativa de carbono orgánico, lográndose resultados alentadores. Sin embargo, a pesar de los avances en la materia, se conoce poco del comportamiento de los procesos que controlan la DB usando SSON. En este estudio investigamos el uso de la paja canalera *Saccharum spontaneum* como SSON como una alternativa para la DB. Presentamos los resultados del estudio efectuados en reactores batch y la modelación matemática de los procesos que intervienen en la DB. En la investigación se obtuvieron parámetros cinéticos necesarios para la modelación matemática: rendimiento neto "Y" (0,668 mg SSV/mg DQO); la máxima tasa de consumo de nitrato "q_{max}" (1,3 mg NO_3^-N / mg SSV ·día) y la constante de afinidad de Monod "K_s" (5,7 mg NO_3^- N/L). Estos parámetros están dentro del rango obtenido por otros autores para procesos de desnitrificación. Con estos resultados y las condiciones iniciales y de borde se realizaron varias corridas del modelo, que representaron con precisión la tasa de remoción de nitrato, así como la liberación de carbono desde el SSON. Podemos señalar que la modelación matemática es una excelente herramienta para estudiar la DB usando los SSON, porque permite predecir cómo responderá el sistema, en función de las condiciones de operación. A futuro se requiere estudiar la DB en sistemas continuos, por ejemplo, en columnas de filtración e *in situ*, ya que es lo más aplicado a la realidad.

Palabras clave Desnitrificación biológica; *Saccharum spontaneum;* SSON; modelación matemática

Un Experimento en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá – El Proyecto Agua Salud

FRED L. OGDEN[1, 3], ROBERT F. STALLARD[2, 3], HELMUT ELSENBEER[3, 4] Y JEFFERSON HALL[3]

1 Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectónica, Universidad de Wyoming, EEUU
fogden@uwyo.edu

2 Servicio de Prospección Geológica de los Estados Unidos, Boulder, Clorado, EEUU

3 Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, EEUU

4 Instituto de Geoecología, Universidad de Potsdam, Alemania

Resumen ¿La reforestación da lugar a mayores o menores escorrentías durante la temporada seca en los trópicos? El proyecto Agua Salud, administrado por el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI, por sus siglas en inglés), tiene como objetivo responder a esta pregunta. Nuestro estudio se lleva a cabo dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, en terrenos adyacentes a antiguos rebrotes en el Parque Nacional Soberanía, dentro de la antigua Zona del Canal de los EE.UU. En los últimos dos años hemos plantado más de 150.000 árboles de especies nativas maderables y de teca en las cuencas de captación que hasta hace poco eran pastizales. Hemos instrumentado estas plantaciones de captación, así como las cuencas de control de captación, las cuales consisten de pastizales, bosques de antiguos rebrotes, de sucesión secundaria temprana, y de la especie de hierba invasora *Saccharum spontaneum*. La instrumentación instalada hasta la fecha incluye 16 vertederos en arroyos en cuencas de captación que oscilan entre 8 y 400 ha, una red de pluviómetros triples, dos sistemas de covarianza de vórtices, estaciones del balance de energía de la superficie, 10 pozos poco profundos para el monitoreo de aguas subterráneas, y muestradores automatizados de la calidad del agua. Los estudios realizados hasta la fecha incluyen estudios de flujo del follaje y análisis de suelos, una cronosecuencia de 25 años en 108 parcelas de sucesión secundaria, y sobrevuelos de Detección y Medición de la Luz (LiDAR, por sus siglas en inglés). El trabajo en curso incluye el análisis del carbono por encima y por debajo de la tierra, el monitoreo de todas las variables hidrológicas y meteorológicas, y estudios de rastreo o seguimiento utilizando rastreadores naturales e introducidos, así como observaciones del flujo poco profundo subterráneo utilizando una tomografía de resistividad eléctrica en la escala de laderas de colinas. También estamos educando a un gran número de estudiantes universitarios graduandos, graduados y de posdoctorado en el importante campo de la hidrología tropical, en colaboración con universidades panameñas. Los datos y las observaciones guiarán el desarrollo de modelos hidrológicos conceptuales y basados en la física, para permitir predicciones del efecto de la reforestación en el balance hídrico en escalas de tiempo que van desde un solo evento a eventos anuales. Los modelos se utilizarán para llevar los conocimientos desarrollados en la escala de plantación y cuenca de captación a la cuenca hidrográfica entera del Canal de Panamá. Los conocimientos adquiridos y los modelos desarrollados ayudarán en las decisiones de gestión de usos de suelo en Panamá, en las cuenca del Caribe, y en gran parte de las zonas tropicales montañosas. Nuestro proyecto está trabajando en estrecha colaboración con la Autoridad del Canal de Panamá y la Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá.

1 Introducción

Debido a la construcción del Canal de Panamá, la cuenca hidrográfica del Canal tiene la distinción de ser la única cuenca hidrográfica substancial del planeta que descarga en dos océanos diferentes. Una segunda característica distintiva es que cuenta con el registro hidrológico y de cambios de usos de suelos más largo y más completo de cualquier otra cuenca hidrográfica de tamaño comparable en los trópicos. Esto hace que sea un lugar atractivo para la investigación tropical del comportamiento y de la función hidrológica, y de los servicios de los ecosistemas. Nuestro proyecto se basa en un conjunto significativo de trabajos anteriores en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, incluyendo el Proyecto de Monitoreo de Cuencas Hidrográficas del Canal de Panamá, que fue un

proyecto conjunto entre el Gobierno de Panamá y la Agencia de los EE.UU. para el Desarrollo Internacional (Heckadon Moreno, et al 1999; Condit, et al, 2001; Ibáñez, et al, 2001).

El Río más grande de la Cuenca del Canal de Panamá es el Río Chagres, que fue represado para crear el lago Gatún, así creando un cruce transístmico acuático a 26 m (85 pies) de altitud. La parte superior del Río Chagres es un parque natural protegido que está conformado en un 98% por bosques maduros (Ibáñez, et al., 2001). La cuenca hidrográfica alta del Río Chagres fue estudiada por un grupo multidisciplinario de investigadores en el período 2002-2003, como se resume en Harmon (2005). La cuenca del Canal está cubierta por una densa red de estaciones de monitoreo hidrológico, incluyendo aproximadamente unos 30 medidores de caudal, más de 70 pluviómetros, 20 estaciones meteorológicas, dos sondeos diarios de globos meteorológicos, y un radar meteorológico de banda-S. La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) realiza evaluaciones periódicas anuales de la cubierta vegetal en la cuenca hidrográfica del Canal.

Con el tiempo suficiente, la intensa erosión de las rocas ígneas durante las temporadas en el trópico húmedo produce suelos dominados por sesquióxidos de aluminio y hierro (Stallard, 1988). Los suelos precursores son Acrisoles y Ferralsoles, siendo típicamente este último más antiguo y dominante en los cratones continentales. El área de estudio y gran parte de la cuenca oriental del Canal está sustentada principalmente por rocas basálticas y andesíticas, de un arco de islas del período Cretáceo (Stewart, et al., 1980; Wörner, et al., 2005). Los suelos son ampliamente clasificados como Acrisoles y tienen hasta 20 m de espesor. Estos suelos están dominados por los minerales de arcilla caolinita y halloysita, con pequeñas cantidades de illita y esmectita, e intercaladas con capas de illita/esmectita (Harrison, et al., 2005). Perfiles de meteorización profunda con una mayor proporción de arcilla están presentes principalmente en las posiciones del talud superior (Harrison, et al., 2005). Los suelos de los trópicos han sido generalmente mal mapeados, de manera que la cobertura exacta de estos suelos es un tema incierto. Los Acrisoles y Ferralsoles cubren conjuntamente 1.960.000 km2 o el 57% de los trópicos húmedos (Richter y Babbar, 1991; Kaufman, et al, 1998; ver Fig. 1). La principal diferencia entre estos dos suelos es un aumento en el contenido de arcilla conforme a la profundidad, en el caso de los Acrisoles. Cerca de la superficie de la tierra, los Acrisoles y Ferralsoles tienen una porosidad y una humedad vegetal disponible similar, y con frecuencia están bien drenados y estructurados (Kaufman, et al., 1998; Elsenbeer, 2001). La vegetación tropical, que la hipótesis indica es el motor principal de la capacidad de flujo rápido, es muy diversa en los trópicos. Por lo tanto, esperamos que nuestros resultados se podrán aplicar en cierta medida en las áreas de los trópicos cubiertos por Acrisoles y Ferralsoles.

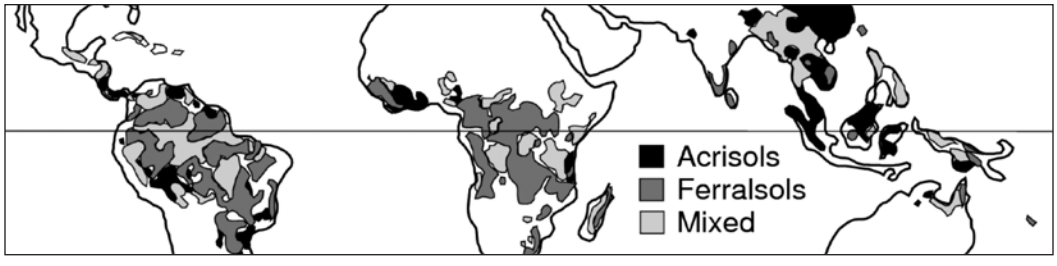


Fig. 1 Distribución de Acrisoles, Ferralsoles, y mezclas dominantes de los dos en los trópicos (según FAO-SIG, 1998).

Los macroporos y tuberías son producidos por las raíces, la fauna del suelo, o por formación de grietas de desecación. Proporcionan vías para que el agua sobrepase la matriz del suelo y se mueva cuesta abajo hacia el acuífero superficial, a velocidades de varios mm/seg (por ejemplo, Beven y Germann, 1982; Mosley, 1979, 1982). La física de los suelos dicta que el agua entrará a

las tuberías del suelo, o macroporos, sólo bajo una presión positiva (Hillel, 1998). Una vez que el agua se encuentre dentro de la red de macroporos podrá ser transportada pendiente abajo a través de suelos no-saturados. Muchos estudios indican que la importancia del flujo a través de los macroporos aumenta con la cantidad de eventos de precipitación.

Una gran cantidad de macroporos (tanto de grietas de desecación como de tensión) y de tuberías se observó en todos los pozos de tierra que se excavaron en tres sitios en la cuenca hidrográfica alta del Río Chagres, en un estudio de reconocimiento realizado en 2002 (Harrison, et al., 2005; Hendrickx, et al., 2005), así como los excavados cerca de Gamboa (Niedzialek, 2007; Niedzialek y Ogden, 2005). Tuberías en el subsuelo fueron observadas por Hendrickx, et al. (2005) con diámetros de hasta unos 10 cm. La abundancia de macroporos y tuberías observada en la cuenca alta del Río Chagres es mucho mayor que cualquier otra jamás observada en suelos de regiones más templadas de Europa occidental y Nueva Zelanda (J.B.J. Harrison y J.M.H. Hendrickx, com. pers.). El señor P. Rojas, guardaparque en la cuenca hidrográfica del Río Chagres, a menudo ha observado salir chorros de agua desde las tuberías de macroporos durante precipitaciones intensas (Hendrickx, et al. 2005), lo cual indica que la red de tuberías está bien conectada hidráulicamente. La exfiltración de agua de tuberías en laderas tropicales, también ha sido reportada por Bonell, et al. (1984), Elsenbeer y Cassel (1991), y Niedzialek (2007) en una posición alta en el paisaje del Cerro Pelado, cerca de Gamboa, Panamá, durante un evento de lluvia de 100 mm durante 4 horas, en noviembre de 2006.

2 Sitios de Estudio

El experimento del STRI en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá aprovecha la infraestructura hidrológica nueva y la existente. Los vertederos mostrados en la Ciudad del Árbol en la Fig. 2, se construyeron en la década de 1920. Ubicamos estos vertederos, descuidados durante mucho tiempo, y los volvimos a activar para uso en nuestro proyecto. También instalamos más de treinta pluviómetros en diez lugares, a lo largo y ancho del área de estudio.

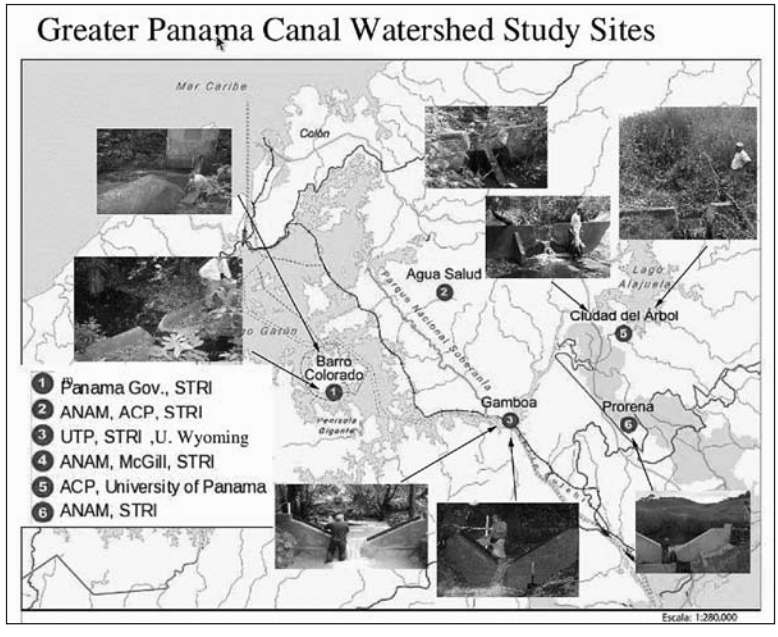


Fig. 2 Sitios de estudio y vertederos en la Cuenca Hidrográfica mayor del Canal de Panamá.

Los sitios de estudio de la plantación, de los antiguos rebrotes, de los bosques administrados y de los pastizales del proyecto de Agua Salud, se muestran en la Fig. 3, junto con los antecedentes del uso de la tierra. El bosque en el área de captación, rotulado con un 50% de deforestación, es un mosaico de regeneración debido a la sucesión de una política de no-intervención. El área de captación de los pastizales se mantiene con un pastoreo activo. Las plantaciones de teca y de especies nativas se fertilizan anualmente, y la hierba y la vegetación nativa competidora se cortan manualmente de forma regular.

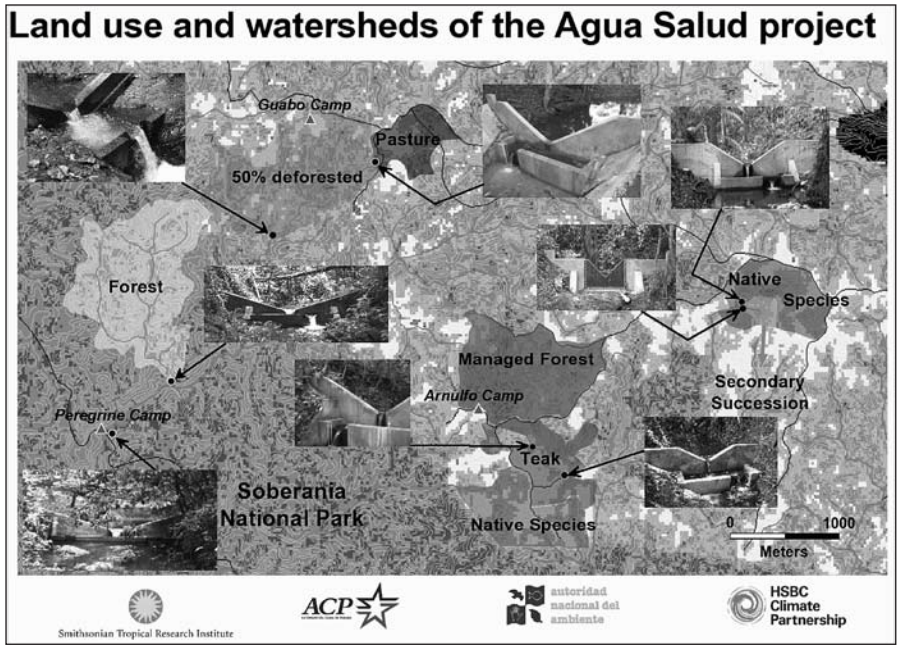


Fig. 3 Estudio de cuencas de captación en el proyecto de Agua Salud que muestra el uso de la tierra, plantaciones y vertederos. Las áreas verde oscuras denotan los bosques.

Una de las hipótesis que se examinan en el proyecto de Agua Salud es que la reforestación de los pastizales aumentará la infiltración y la recarga del agua subterránea. El aumento de la recarga del agua subterránea incrementará el caudal de los ríos en la temporada seca. Una de las herramientas que se utiliza para poner a prueba esta hipótesis es la tomografía de la resistividad eléctrica (ERT, por sus siglas en inglés). La Fig. 4 muestra los resultados de una prueba de ERT, utilizando agua ligeramente salinizada (500 mg/l de NaCl), que dio por resultado un incremento de 400% en la conductividad eléctrica, aplicada en el extremo ascendente de la ladera de estudio. Cinco horas después del comienzo de la prueba, la conductividad eléctrica en la capa superior del suelo mostró aproximadamente un 20% de aumento. Aproximadamente 20 mm de lluvia cayeron durante esta prueba, dejando al descubierto la estructura vertical de la capa de flujo activo en el suelo.

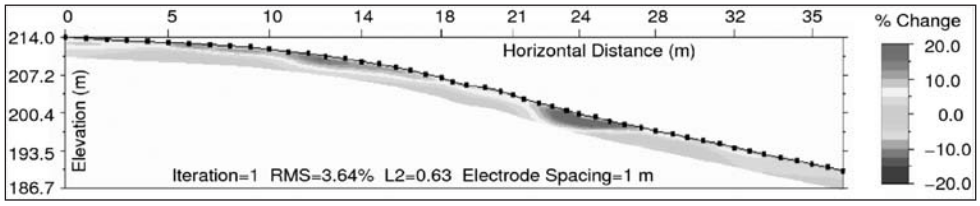


Fig. 4 Resultados de la prueba de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) llevada a cabo, utilizando un contraste de salinidad aplicada en el proyecto de plantación de teca en Agua Salud, en julio de 2009, que muestra la variación porcentual en la conductividad eléctrica, cinco horas después de la aplicación en x = 0. Electrodos ERT en serie se muestran como puntos negros en la superficie. La capa de flujo activo es fácilmente visible.

3 Conclusiones

El proyecto Agua Salud del STRI tiene como objetivo mejorar nuestra comprensión de los servicios de los ecosistemas que brindan las cuencas hidrográficas tropicales, incluyendo la producción constante de alta calidad de agua para el consumo humano y para las operaciones del Canal. La Fig. 5 muestra diferencias significativas entre el comportamiento de los caudales durante la temporada seca, en función del uso del suelo, en cuencas estrechamente vinculadas. El área de captación forestada atenúa los picos de inundación y los resultados en el aumento del flujo de base durante la temporada seca. Nuestro experimento está en pleno funcionamiento y comienza a producir resultados útiles. Mejor aún, la infraestructura del proyecto está en condiciones de observar un período significativo de reforestación en una cuenca tropical.

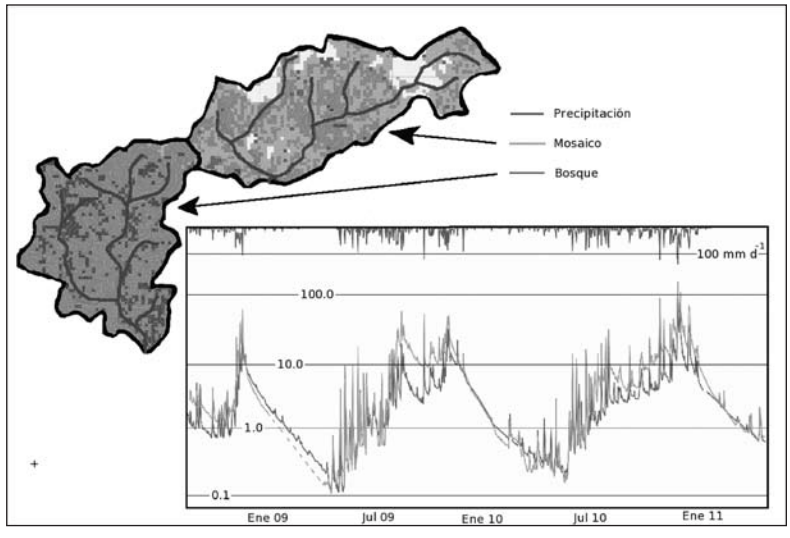


Fig. 5 Diferencias significativas de flujo en la temporada seca entre el bosque de rebrote antiguo y aproximadamente el 50% del mosaico de reforestación de la cuenca hidrográfica.

Agradecimientos

El financiamiento principal para el proyecto Agua Salud del STRI proviene del HSBC Climate Partnership. El proyecto no sería posible sin la ayuda de numerosos organismos de EE.UU. y Panamá. Los fondos para la instrumentación hidrometeorológica han sido proporcionados por la

Oficina de Investigación del Ejército de EE.UU., a través de la Subvención 55.573-EV-RIP al primer autor. La Autoridad del Canal de Panamá presta un apoyo significativo a través del financiamiento de plantaciones de especies nativas, el funcionamiento de dos estaciones meteorológicas en el área de estudio de Agua Salud, y mediante el intercambio de datos y transferencia de tecnología. La Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá ha brindado apoyo a través de permisos y el acceso a las zonas de captación del Parque Nacional Soberanía. Otras fuentes de financiación son la Universidad de Wyoming, el Servicio Geológico de los EE.UU., y la Universidad de Potsdam, a través de la Fundación Alemana de Ciencia Nacional. También reconocemos el apoyo de estudiantes universitarios graduandos, de posgrado y de posdoctorado, los cuales son demasiado numerosos para mencionar.

REFERENCIAS

Beven, K., y P. Germann. (1982) Macropores and Water-Flow in Soils. *Water Resour. Res.* 18: 1311-1325.

Bonell, M., Cassels, D.S. y Gilmour, D.A. (1984) Vertical soil water movement in a tropical rainforest catchment in north-east Queensland. *Earth Surf. Processes Landforms* 8: 253-272.

Condit, R., Robinson, W.D., Ibáñez, D., R., Aguilar, S., Sanjur, A., Martinez, R., Stallard, R.F., Garcia, T., Angehr, G.R., Petit, L., Wright, S.J., Robinson, T.R., y Heckadon Moreno, S. (2001) The status of the Panama Canal Watershed and its biodiversity at the beginning of the 21st Century: *Bioscience* 51(5):389-398.

Elsenbeer, H. (2001) Hydrologic flowpaths in tropical rainforest soilscapes, a review: *Hydrol. Proc.* 15:1751-1759.

Elsenbeer, H. y Cassel, D.K. (1991) The mechanisms of overland flow generation in a small catchment in western Amazonia. En: B.P.F. Braga and C. A. Fernandez-Jauregui (Editors), *Water Management of the Amazon Basin*. UNESCO, Montevideo, Uruguay, pp. 213-220.

Harmon, R.S. (2005) *The Río Chagres Panama – Multidisciplinary Profile of a Tropical Watershed*, Springer.

Harrison, J.B.J., Hendrickx, J.M.H., Vega, D., Calvo-Gobetti, L.E. (2005) Soils of the upper Río Chagres Basin, Panama. En R.S. Harmon (Ed.), *The Río Chagres Panama – Multidisciplinary Profile of a Tropical Watershed*, Springer, 97-112.

Heckadon Moreno, S., Ibáñez D., R., y Condit, R. (1999) *La Cuenca Del Canal: Deforestacion, Contaminacion y Urbanizacion*. Panamá, Republica de Panamá, Smithsonian Tropical Research Institute.

Hendrickx, J. M. H., D. Vega, J. B. J. Harrison, P. Rojas, L. E. C. Gobbetti, y T. W. Miller. (2005) Soil hydrology along steep hill slopes in the Río Chagres watershed. en R. S. Harmon, editor. *The Río Chagres: A multidisciplinary profile of a tropical watershed*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda.

Hillel, D. (1998) *Environmental soil physics*. Academic Press, San Diego, CA.

Ibáñez D., R., Condit, R., Angehr, G.R., Aguilar, S., Garcia, T., Martinez, R., Sanjur, A., Stallard R.F., Wright S.J., Rand A.S., y Heckadon Moreno S. (2002) An ecosystem report on the Panama Canal: Monitoring the status of the forest communities and the watershed: *Envir. Monitoring and Assess.* 80:65-95.

Kaufman, S., W.G. Sombroek, y S. Mantel. (1998) Forest Soils in the Humid Tropics: Characteristics and Classification, pp. 9-20 en *Soils of Tropical Forest Ecosystems: Characteristics, Ecology, and Management*, A. Schulte and D. Ruhiyat (Eds.), Springer, ISBN 3-540-63607-2.

Mosley, M.P. (1979) Streamflow Generation in a Forested Watershed, New Zealand. *Water Resour. Res.* 15:795-806.

Mosley, M.P. (1982) Subsurface flow velocities through selected forest soils, South Island, Nueva Zelanda. *J. Hydrol*. 44(104):65-92.

Niedzialek, J.M. (2007) *Unusual Hydrograph Characteristics, Upper Río Chagres, Panama*, tésis doctoral, University of Connecticut, Storrs, CT 06268 EEUU, 261 pp.

Niedzialek, J. M., y F. L. Ogden. (2005) Runoff production in the upper Río Chagres catchment, Panama, en R. S. Harmon, ed., *The Río Chagres: A multidisciplinary profile of a tropical watershed*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda.

Richter, D.D., y L.I. Babbar. (1991) Soil Diversity in the Tropics, en *Advances in Ecological Research* 21, Begon, M., A.H. Fitter, and MacFadyen, eds., Academic Press Inc. San Diego, CA 92101 USA.

Stallard, R.F. (1988) Chapter 1: Weathering and erosion in the humid tropics, en *Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles*, Lerman, A. and Meybeck, M., editors: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda, p. 225-246.

Stewart, R.H. y Stewart, J.L., con la colaboración de Woodring, W. P. (1980) *Geologic map of the Panama Canal and vicinity, Republic of Panama*, US Geological Survey, IMAP-1232.

Wörner, G., Harmon, R.S., Hartmann, G., y Simon, K. (2005) Igneous geology and geochemistry of the Upper Río Chagres Basin, en R. S. Harmon, editor. *The Río Chagres: A multidisciplinary profile of a tropical watershed*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda, 65-81 pp.

Gestión hídrica innovadora para comunidades lacustres en Uganda: El enfoque socio-eco-hídrico de la salud

FREDERICK KAKEMBO
Universidad Cristiana de Uganda, Mukono, Uganda
fkakembo@ucu.ac.ug

Resumen Este documento explora un marco de gestión integrada del agua para la provisión de agua potable y la eliminación de residuos en comunidades lacustres de tres distritos en Uganda. Las comunidades experimentan un alto estrés hídrico que conduce a la mala salud y a la pobreza. Se establece como premisa que la solución de estos problemas va más allá de la tecnología, los equipos y la infraestructura física, y se hace un llamado para la implementación de sistemas innovadores de gestión. Guiados por una perspectiva de salud-social-hídrica, se analizan los temas existentes de gestión hídrica y se demuestran los marcos de gestión innovadora. El documento describe los vínculos entre la salud humana, los patrones de gestión, temas técnicos y temas socio-culturales. La literatura existente indica un retorno de US $3 a $34 por cada dólar invertido en agua y saneamiento seguro. Teniendo en cuenta que el gobierno carece de suficientes recursos financieros para la gestión del agua, se sugiere que las Asociaciones Público-Privadas (PPP, por sus siglas en inglés) podrían ser utilizadas como un modelo viable de gestión. Además de las PPP, el documento analiza los incentivos socio-económicos en la promoción de la participación comunitaria en la gestión de recursos hídricos. El estudio examina: las actividades/fuentes contaminantes; las percepciones de riesgo de salud; las opciones existentes del tratamiento del agua; las actitudes hacia una posible reutilización de los lodos; los marcos existentes políticos/regulatorios; la voluntad y capacidad de pago por el agua y la disposición segura de residuos; las habilidades administrativas/técnicas locales; y la capacidad local para movilizar el capital. Basándonos en los resultados, proponemos un marco integrado y sostenible de gestión hídrica, con especial referencia a la re-utilización de los lodos de aguas residuales para aumentar la producción agrícola. Se recomienda que la educación y la capacitación comunitaria podría contribuir a la creación de capacidades para las PPP, y en la promoción de la participación comunitaria.

Palabras clave agua-segura; eliminación de residuos; salud social-eco-hídrica; Administración; Asociaciones-Público-Privadas

1 Introducción

El suministro de agua potable y la disposición sostenible de las aguas residuales en Uganda exige enfoques innovadores. La tasa de crecimiento urbanístico de un 20%, y el crecimiento de la manufactura de un 15% (UBOS, 2008) podrían traducirse en una mayor contaminación del Lago Victoria y otras fuentes naturales de agua. Desechos domésticos e industriales no tratados son descargados desde Kampala, Jinja, Entebbe y desde otros pequeños pueblos. Los principales contaminadores son las industrias, hospitales, escuelas y hogares en áreas urbanas y peri-urbanas de Kampala, Mukono, Jinja y Entebbe. Solamente la descarga diaria de la ciudad de Kampala asciende a 6,34 toneladas de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), 1 tonelada de fósforo y 1,5 toneladas de nitrógeno (Banadda, et al., 2009). La creciente saturación del lago Victoria se ejemplifica con los cambios de color del agua y del crecimiento de algas. Otros destinos de las aguas residuales sin tratar son los humedales, canales naturales de drenaje y otras áreas no ocupadas (MWE, 2010). Este documento, sin embargo, se centra en los distritos de Mukono, Kayunga y Buikwe, que hasta hace dos años estaban incluidos el distrito de Mukono. El área de estudio se encuentra entre las longitudes 32°-30'-30" y 33°-25'-00" E, y las latitudes 1°-00´-00" S y 1°-30'-30" N. El área de estudio está rodeada por ríos en el este y al oeste, el lago Victoria en el sur y el lago Kyoga en el norte. Alrededor del 90% de las comunidades son rurales, siendo su preocupación principal la agricultura. Las comunidades lacustres en el área de estudio son parte de 124 asentamientos pesqueros ribereños en el Lago Victoria. Se estima que la población de

estos asentamientos es de aproximadamente 92.000 habitantes, pero la cobertura de fosas de letrinas es inferior al 20%. Gran parte de los desechos (aproximadamente unas 2 toneladas de DBO, 0,25 toneladas de nitrógeno y 0,13 toneladas de fósforo) son arrojados en (o cerca de) las fuentes naturales de agua (MWE, 2010). Estas aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas contienen patógenos, productos químicos orgánicos y metales pesados que son peligrosos para la salud humana, y que pueden finalmente conducir a la pobreza.

2 Marco conceptual

Se asume de antemano que la solución de los problemas de la calidad del agua y de la disposición de residuos va más allá de la tecnología, del equipamiento y de la infraestructura física; y requiere de enfoques de una gestión innovadora. Esta visión se basa en el continuo deterioro de la calidad del agua a pesar de numerosas iniciativas regionales y mundiales desde hace un par de décadas. Parece ser que una serie de proyectos se concentran en la infraestructura física y se enfocan en objetivos cuantitativos, tal como el número de hogares provistos de agua/saneamiento y los plazos para la consecución de los objetivos. Como ha señalado Swyngedouw (2009), la verdadera escasez hídrica va más allá de la ausencia física de agua; es un factor de la economía y la política.

Este documento discute un enfoque multi-dimensional para la provisión de agua y la disposición de las aguas residuales. El enfoque examina las interrelaciones entre factores físicos, ecológicos, técnicos, económicos y socio-culturales. Teniendo en cuenta que el saneamiento inadecuado no se sostiene en forma aislada, es imperativo explorar diversos factores que influyen el comportamiento humano, en particular la adhesión a prácticas ideales. Para ser eficaz, cualquier intervención puede que tenga que abordar temas físicos, ecológicos, económicos, políticos y socio-culturales. Los enfoques existentes parecen funcionar bien en un típico ciclo hidrológico (describiendo procesos físicos de la circulación y distribución del agua a través de sus diversas formas). Se propone que la gestión hídrica adopte un ciclo de salud Hídrico-Social que describa la relación entre los ecosistemas, las actividades humanas y la salud. El enfoque de salud Hídrico-Social es una re-definición del paisaje de la gestión de recursos hídricos que se centra en la economía política y político-ecológica del agua y de la circulación del agua (Castro, 2006; Loftus, 2005; Kaika, 2005). Se centra en la correlación entre el ciclo hidrológico y los factores sociales, políticos, económicos y culturales (Swyngedouw, 2004). La circulación del agua es una convergencia de los procesos físicos y sociales debido a que la naturaleza y la sociedad están inseparablemente fusionadas (Swyngedouw, 2006). Este enfoque cuestiona la visión tradicional fragmentada que se centra en las esferas sociales y físicas como entidades separadas (Bakker, 2003; Heynen, et al., 2005). Este documento por lo tanto analiza el acceso al agua y aguas residuales a la luz del ciclo salud-Social-Eco-Hídrico.

El estudio se basó en el supuesto de que los incentivos socio-económicos y las Asociaciones Público-Privadas (PPP, por sus siglas en inglés)[1] pueden mejorar el acceso al agua y la disposición de las aguas residuales. La expectativa era que los individuos adoptaran prácticas ideales si se conocen los beneficios sociales y económicos asociados. Por ejemplo, uno de los supuestos beneficios económicos de la disposición sostenible de las aguas residuales es la mejoría de la producción agrícola. Las aguas residuales tienen nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio y zinc, que actúan como abono para las plantas y que mejoran las demás cualidades del suelo (FAO, 2011). Este valor se vuelve particularmente importante a la luz de la escasez mundial del fósforo (NETWAS, 2011). La aplicación de aguas residuales en vez de una irrigación natural permitió a los agricultores mexicanos

1 PPP se define como "La combinación de una necesidad pública con la capacidad y los recursos privados, para crear una oportunidad de mercado a través de la cual se cumple la necesidad pública y se obtiene una ganancia" (Heilman y Johnston, 1992)

ahorrar unos US $150 por hectárea en relación con el uso de fertilizantes químicos (Van der Hoek, et al., 2002). Se basa también en la premisa que los recursos del sector privado podrían compensar la insuficiencia de los recursos públicos humanos y financieros. La viabilidad de la PPP se refleja en estudios que sugieren un retorno de US $3 a $34 por cada dólar invertido en agua potable y saneamiento (Schuster-Wallace, et al., 2008). Sobre la base del ciclo salud-Social-Eco-Hídrico, una serie de factores pueden influir en el papel y la eficacia de los incentivos socio-económicos y de la PPP para mejorar la gestión de recursos hídricos. Los factores incluyen: marcos de apoyo político, la percepción de riesgo comunitario, las actitudes hacia las opciones de tratamiento de aguas residuales, capacidad y voluntad local de pago de los servicios relacionados con el agua, la capacidad local para la movilización del capital; y la disponibilidad de habilidades administrativas y técnicas locales. El objetivo del estudio fue determinar si y cómo estos factores influyen en el suministro de agua potable y en la eliminación de aguas residuales en el área de estudio. Los resultados se espera que sean la base de estudios completos en la siguiente etapa: determinar la factibilidad, análisis de costo-efectividad y del costo-beneficio de las diversas opciones de gestión hídrica en las áreas de estudio.

3 Objetivo del estudio

El objetivo principal del estudio fue establecer los parámetros que se utilizarán en un estudio posterior que evaluará la factibilidad, análisis de costo-efectividad y de costo-beneficio de las diversas opciones de gestión hídrica en las mismas áreas.

4 Materiales y métodos

Este estudio fue típicamente exploratorio, en el cual se aplicó un rango limitado de herramientas cualitativas de recolección de datos utilizados principalmente en la investigación de factores que influyen en la accesibilidad de agua potable y en disposición de aguas residuales en los distritos de Mukono, Buikwe y Kayunga. La investigación se basó en parte en el análisis crítico de los datos de los estudios actuales sobre el agua y el saneamiento en los tres distritos y en el país en general. También se basó en el análisis de los documentos en las oficinas nacionales y distritales de la Corporación Nacional de Agua y Alcantarillado (NWSC, por sus siglas en inglés). Entrevistas a fondo se llevaron a cabo en parte para validar los datos existentes y para generar percepciones adicionales. Los encuestados incluyeron: el personal de la NWSC dentro de los distritos y en la sede nacional, el personal administrativo en distintos niveles del gobierno local distrital, proveedores privados del servicio (relacionados con el agua), líderes de la comunidad (que manejan los proyectos hídricos) y beneficiarios seleccionados relacionados con el servicio del agua.

5 Resultados

Esta sección describe los conocimientos generados durante el estudio, de cómo las diferentes políticas, factores económicos y socio-culturales convergen para influir en el suministro de agua potable y disposición de aguas residuales.

La convergencia de las limitaciones económicas y políticas

Mientras que instrumentos de regulación han sido establecidos para proteger las fuentes de agua de la contaminación, los gobiernos centrales y locales no disponen de suficientes recursos humanos y financieros para observar su cumplimiento (MWE, 2010). Los recursos no coinciden con el

desarrollo acelerado y no planificado de las ciudades y las industrias que son las principales fuentes de efluentes sin tratar. De las 89 empresas, instituciones y organizaciones que se les había otorgado permisos de descarga de agua, sólo 39 disponen de un permiso valido (MWE, 2011). Al parecer, la calidad del agua sigue empeorando debido a la creciente brecha entre la oferta y la demanda en la prestación de servicios. Por ejemplo, mientras los Estatutos de la NWSC de 1995 ordenan a la NWSC a manejar todas las aguas residuales domésticas e industriales, esta no tiene los recursos adecuados para manejar el servicio por sí sola (NETWAS, 2011). Además, los altos costos de conexión obstaculizan a los operadores privados e industriales la conexión a los sistemas de alcantarillado de la NWSC. Los operadores de vaciados de tanques sépticos cobran una cuota (15,000-20,000) para descargar estas aguas residuales tratadas en la planta de Jinja (ibid). Esto induce a los industriales y otros operadores privados a descargar las aguas residuales sin tratar en las fuentes de agua natural. Asimismo, los operadores privados de vez en cuando se ven afectados por la irregularidad de la electricidad y los caminos en mal estado, algo que está fuera de su alcance financiero y obligatorio. Por ejemplo, cuando el suministro de electricidad de la red nacional se desconecta, la Universidad Cristiana de Uganda (Mukono), que opera una planta de tratamiento de aguas, incurre en grandes costos de combustible al utilizar su generador eléctrico.

La mayoría de los instrumentos estatuarios existentes se centran en el cumplimiento de las normas de descarga establecidas, en vez de promover opciones alternativas de gestión. Los temas abordados son: el almacenamiento seguro y el tratamiento, descarga y disposición de aguas residuales. Los instrumentos incluyen: la Política Nacional de Salud Ambiental (2005); la Regulación Nacional de Medio Ambiente (Normas para la descarga de efluentes en el agua o en la tierra) de 1999 y la Regulación Nacional de Medio Ambiente (Gestión de Residuos) de 1999. Las brechas en la política de disposición de aguas residuales podrían salvarse por medio de opciones alternas de gestión de recursos hídricos, tal como las PPPs. Sin embargo, la operatividad de la PPP es cuestionada por faltas ocasionales de las autoridades gubernamentales locales y centrales para conciliar sus responsabilidades socio-económicas con los intereses de los proveedores privados. Por ejemplo, los operadores privados de vaciado de tanques sépticos encaran una competencia indebida de sus contrapartes de las instituciones públicas, tales como el cuerpo de bomberos, la policía, el ejército, las instituciones educativas y hospitales. Mientras que los operadores privados pagan impuestos, los proveedores públicos no pagan impuestos y ocasionalmente sirven a los mismos clientes. Por lo tanto, los operadores privados se encuentran en una posición de desventaja. El otro desafío se centra en la demarcación y la definición de roles y responsabilidades de los consumidores, reguladores, ONGs/Organizaciones Comunitarias (CBO, por sus siglas en inglés), proveedores de servicios privados, y del gobierno local/central.

Las autoridades de las ciudades de Mukono, Buikwe y Kayunga aún no han aplicado la creación de carriles de servicio en las vías, para garantizar el acceso de los camiones de vaciado para llegar a los tanques sépticos y letrinas. Además, a diferencia de su contraparte en el ayuntamiento de Mityana, los administradores de las áreas de estudio no han hecho cumplir la construcción de instalaciones de inodoros hídricos (en zonas accesibles a acueductos). Dado el alto costo económico, aún no ha sido posible establecer sistemas de alcantarillado y, por lo tanto, las áreas dependen de camiones de vaciado de tanques sépticos. Los instrumentos estatuarios guardan silencio acerca de la reutilización de las aguas residuales. La única referencia sobre el tema es la ordenanza urbana agrícola del Consejo Municipal de Kampala (2006). Esta prohíbe el uso de los desechos humanos no tratados para fines agrícolas debido a los riesgos de salud asociados. La aplicación de lodos de aguas residuales se limita actualmente a las flores, árboles y otros cultivos no alimentarios (NETWAS, 2011).

El ambiente propicio para las políticas y la participación comunitaria

La Ley de Aguas (1999) prevé la formación de Grupos de Usuarios de Agua y Asociaciones Hídricas. La membrecía a estos grupos/asociaciones se espera que sea llenada entre los beneficiarios comunitarios. Sus funciones principales son la de asegurar el mantenimiento a través de la recaudación de los cargos de los usuarios. Sobre la base de estas disposiciones, iniciativas para mejorar el acceso al agua han sido llevadas a cabo. Este documento describe dos iniciativas para ilustrar cómo un entorno favorable de políticas ambientales mejora la inclusión social y la participación comunitaria.

El proyecto de Agua y Saneamiento Rural apoyado por DANIDA (RUWASA, por sus siglas en inglés) empoderó a las comunidades a participar en la construcción y gestión de pozos de agua de manantial en áreas protegidas. Las comunidades proporcionaron: materiales locales como arena, arcilla, grava, piedras; mano de obra para la limpieza del alcantarillado; cercaron las zonas detrás de muros de contención; y manipularon las escorrentías de agua pluvial. Comités de Usuarios de Agua (WUC, por sus siglas en inglés) de seis miembros y dos cuidadores (donde uno tenía que ser una mujer) fueron creados, con el mandato de los miembros de supervisar los cuidadores, proponer/imponer los estatutos aprobados por los usuarios del agua; asegurar la participación activa; monitorear las actividades, promover el saneamiento y educar sobre la higiene. La responsabilidad del gobierno era la de elaborar directrices para las operaciones comunitarias y las actividades de mantenimiento; facilitar la formación de los WUC y los cuidadores; pagar a los albañiles y el supervisor, transportar los materiales y proveer cemento, tuberías, barras de hierro y otros materiales localmente disponibles. Se estima que el valor monetario de la contribución del gobierno y de la comunidad fue equivalente.

La segunda iniciativa es un proyecto en Kiyindi apoyado por la UNU-INWEH. Su objetivo era incrementar el acceso al suministro de agua. La iniciativa amplió un depósito existente de agua (que sale de un manantial) que hasta ahora no era suficiente para la población de unos 20.000 habitantes. Anteriormente, las familias locales competían por la misma agua con la Unidad de Gestión de la Playa (BMU, por sus siglas en inglés), que necesitaba grandes volúmenes de agua para limpiar el pescado. La iniciativa consistió en la creación de un comité de gestión, constituido por un 50% de mujeres y representantes de la BMU. El resultado es que 700 bidones (de 20 litros) podrían ser vendidos al día a través de cuatro quioscos con medidores. El proyecto ha ayudado a reducir el costo del agua en el área de 300-500 chelines a 100 chelines. El ahorro (en términos de tiempo y dinero) es notable para las comunidades lacustres cuyos ingresos no son regulares.

En estas dos iniciativas, sin embargo, el logro sólo puede ser descrito en términos de cantidad, pero no de calidad del agua accedida. Tal vez debido a temas de prácticas financieras y criterios de sostenibilidad, las iniciativas no incluyen un componente de tratamiento de agua. El agua es por lo tanto susceptible a riesgos para la salud, incluso cuando son de fuentes naturales. Un estudio es imprescindible para determinar si las comunidades pueden por el agua si su tratamiento es incorporado.

Temas económicos en la provisión de agua potable segura y la disposición de aguas residuales

Como ya se ha indicado anteriormente, muchas de las iniciativas de provisión de agua existentes carecen de un componente de tratamiento. La Universidad Cristiana de Uganda es una de las pocas organizaciones que abastecen agua tratada (dentro y en algunas áreas fuera de la universidad). La limitación más grande parece ser el costo y la sostenibilidad. En cuanto a la disposición de aguas residuales, no existen sistemas de alcantarillado en las áreas de estudio. Las industrias, instituciones y familias dependen de los costosos camiones de vaciado para el drenaje de los tanques sépticos. La excepción es la Universidad Cristiana de Uganda, que cuenta con un sistema central

de alcantarillado. En la reutilización de los lodos, muy pocos campesinos en las áreas de estudio lo aplican en la agricultura. Todos estos factores hacen que haya pocos incentivos para no vaciar las aguas residuales en (o cerca) de fuentes naturales de agua. En los pocos casos donde se utilizan los lodos en árboles y viveros de flores (en Kampala), la preferencia de los agricultores a pequeña escala se basa en la implicación de reducción de costos, en relación con los fertilizantes comerciales (GTZ, 2010). La disposición de los agricultores a mediana escala depende de la disponibilidad de las redes de distribución (NETWAS, 2011). Los agricultores a gran escala estarían dispuestos a usarlos si los costos de transporte son bajos (GTZ y CIDI, 2009). La reutilización de las aguas residuales, por lo tanto, se podría promover si es servida cerca de posibles usuarios. Teniendo en cuenta que los lodos procedentes de fuentes domesticas contienen menos metales pesados (WHO, 2006), los costos del tratamiento (de patógenos) es probable que sean más bajos en comparación a la de las zonas urbanas industriales. En el caso que sea creada la concienciación sobre el valor de estos lodos, los agricultores en el distrito de Kayunga (cerca de la planta de Jinja) lo podrían obtener gratis a excepción de los gastos de transporte (que, según las cifras utilizadas en Kampala, son de 15.000 UGX). Los agricultores en el distrito de Mukono (cerca de la Universidad Cristiana de Uganda) podrían obtenerlos a un costo más bajo.

Conceptos socio-culturales de agua segura y disposición de aguas residuales

Las percepciones comunitarias sobre el riesgo para la salud influyen en la gestión de los recursos hídricos debido a que la voluntad de sufragar los gastos de agua potable depende de la comprensión de las opciones seguras. Las comunidades lacustres tienen un dicho tradicional "Enyanja tenoga" (el lago es demasiado grande para ser saturado con impurezas). Otros creen que la adopción de ingerir agua tratada/hervida reduce la inmunidad a las infecciones transmitidas por el agua. Quizás el cambio de color del agua pueda ahora demostrar que no es apta para el consumo (si no es tratada/hervida). En la reutilización de las aguas residuales, su aplicación es bastante baja a pesar de su valor potencial (GTZ, 2009). Las personas se niegan a comprar alimentos a los agricultores que saben que utilizan la orina como fertilizante (NETWAS, 2011; GTZ, 2010). Las heces, los lodos fecales y lodos de aguas residuales son considerados social y culturalmente como sucios. No obstante, la aplicación de la orina en los cultivos es una práctica que se utiliza cada vez más (NETWAS, 2011). Los agricultores rurales están dispuestos a pagar por ella un costo de 5.000 UGX por un bidón de 20 litros (GTZ, 2010). Por otra parte, una falta general de conciencia sobre el valor y la disponibilidad de los lodos de aguas residuales y la orina limita posibles compradores/usuarios. El personal técnico agrícola y otros funcionarios del gobierno local se encuentran entre las personas ignorantes acerca de este recurso. En general, el uso de fertilizantes en Uganda (independientemente del tipo) es bastante bajo (3%) (NETWAS, 2011)

6 Conclusión

El suministro de agua potable y la disposición de aguas residuales están perfectamente entrelazados en la medida en que no puede ser fácil manejar uno de los aspectos sin abordar el otro. Tal vez sin la contaminación, muchas de las fuentes de agua serían relativamente seguras. A la luz del ciclo Salud-Hídrico-Social, el punto de partida es identificar y comprender los factores que confluyen para limitar el acceso al agua potable. Siendo la causa principal de contaminación, y estando en el centro de los remedios, el ser humano resulta estar en el centro del ciclo Salud-Hídrico-Social. Estrategias adecuadas son aquellas que se ocupan de las interrelaciones entre los factores ecológicos, físicos, económicos y socio-culturales. Sensibilizar a la población sobre el valor de las aguas residuales

crea un incentivo para utilizarlas de forma rentable y sostenible, y no descargarlas en las fuentes de agua natural. La concienciación también podría plantearse acerca de los riesgos asociados y las medidas que puedan mitigar. Como se sugirió anteriormente, los recursos del sector privado podrían complementar los esfuerzos del gobierno en el acceso al agua potable. Se ha ilustrado, sin embargo, que las PPP se enfrentan a varios retos. Una de las realidades emergente de los hallazgos es que las iniciativas innovadoras de educación de la comunidad podrían ser fundamentales en el desarrollo de la capacidad de gestión de recursos hídricos. El papel de la educación de la comunidad sería diferente para las distintas partes interesadas: para las comunidades, la creación de incentivos socio-económicos para el uso sostenible de las aguas residuales, la formación de los recursos y el mantenimiento de las estructuras de gestión del agua; para los proveedores del servicio del sector privado, el manejo de herramientas y enfoques innovadores de gestión, manipulación de los gastos de los usuarios para cubrir los costos operativos/mantenimiento, la mitigación de riesgos financieros, la gestión de recursos, la gestión financiera, y el desarrollo de canales de comunicación con los clientes y el gobierno; y para el gobierno local, la puesta en operación de la PPP, la fijación de tarifas y la mejora de servicios.

REFERENCIAS

Banadda, E., *et al*. (2009) *Land use- based non point source pollution: A threat to water quality in Murchison Bay, Uganda.*

Bakker, K. *(2003) An Uncooperative Commodity - Privatizing Water in England and Wales. Oxford University Press.*

Castro, E. (2006*) Water, Power and Citizenship: Social Struggles in the Basin of Mexico. New York: Palgrave.*

FAO. (2011) *The safe use of water in agriculture.* http://www.fao.org/news/story/en/item/44899/icode/ Accessed Feb. 20th 2011.

GTZ (2010) *Marketing Human Excreta: A study of possible ways to dispose of urine and faeces from slum settlements in Kampala, Uganda.*

GTZ, (2009) *Marketing Human Excreta: A study of possible ways to dispose of urine and faeces from slum settlements in Kampala, Uganda.*

Heilman, J. and Johnston. (1992) *The Politics of Economics of Privatization*. University of Alabama Press, p. 197.

Heynen, N et al. (2005) *Urban Political Ecology - Politicizing the Production of Urban Natures. In: The Nature of Cities - Urban Political Ecology and the Politics of Urban Metabolism, eds.* N. Heynen, M. Kaika and E. Swyngedouw. London: Routledge.

Kaika, M. (2005*) City of Flows.* London: Routledge.

Loftus, A. (2005) The Metabolic Processes of Capital Accumulation in Durban's Waterscape. In: The Nature of Cities - Urban Political Ecology and the Politics of Urban Metabolism, eds. N. Heynen, M. Kaika and E. Swyngedouw. London: Routledge.

(MWE) Ministry of Water and Environment. (2009) *Water sector performance report 2009.*

(MWE) Ministry of Water and Environment. (2010) *Water sector performance report 2010.*

NETWAS UGANDA. (2011) *Market Study on Demand for Use of Wastewater, Excreta and Faecal Sludge and Other Related By-products*; Final Report.

Schuster-Wallace, *et al*. (2008) *Safe water as the Key to Global health*. The United Nations University International Network on Water, Environment and Health (UNU-INWEH).

Swyngedouw, E. (2004) *Social Power and the Urbanisation of Water.* Flows of Power. Oxford: Oxford University Press.

Swyngedouw, E. (2006) *Circulations and Metabolisms: (Hybrid) Natures and (Cyborg) Cities.* Science as Culture 15 (2): 105-122.

Swyngedouw, E. (2009) *Political Economy and Political Ecology of the Hydro-Social Circle.* Journal of Contemporary Water Research & Education, Issue 142, Pages 56-60, August 2009.

(UBOS) Uganda Bureau of Statistics. (2008).

Van der Hoek W. *et al*. (2002) *Urban wastewater: A valuable resource for agriculture*. A case study from Haroonabad, Pakistan. Research Report -63, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

(WHO) World Health Organisation. (2006) *WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.*

Soluciones ecológicas y eco-hidrológicas para el manejo sostenible de los recodos de la cuenca del Río Citarum en Indonesia

GIUSEPPE ARDUINO[1], EVA MIA SISKA[1], MARCO BONETTI[1], RAMSIS SALAMA[2] Y JOSE MIGUEL RUIZ VERONA[2]

1 Unidad Hidrológica/Geológica, Oficina de UNESCO Yakarta, Indonesia

2 Consultor de SWITCH-en-Asia

g.arduino@unesco.org

Resumen Este documento presenta los componentes preliminares del proyecto "Soluciones Ecológicas y Eco-hidrológicas para el Manejo Sustentable de los Recodos de la Cuenca del Río Citarum en Indonesia". El área objeto de este estudio está localizada a lo largo de la parte superior de la Cuenda del Río Citarum, en Java Occidental, considerada la cuenca de río más estratégica de Indonesia, a la vez que es una de las cuencas más contaminadas del mundo, la cual cubre más de 13.000 Km^2, y sirve de hogar a 9 millones de personas, manteniendo a una población de más de 28 millones. Río abajo desde la ciudad de Bandung hay 11 recodos, los cuales son el resto de los meandros del río que han sido separados para regular o desviar el flujo del Citarum. El proyecto se enfoca en 2 recodos específicamente, el Dara Ulin (50 hectáreas) y el Mahmud (16 hectáreas), localizados en la Regencia de Bandung. La deficiente sanidad de los asentamientos en la zona de captación, la alta dependencia ambiental existente, los efectos del cambio climático y los trabajos de regulación del flujo de agua, han alterado y degradado severamente el ambiente natural de la Cuenca. Estos dos recodos aún presentan ecosistemas relativamente preservados, que merecen ser sustentados y mejorados, para lograr proteger el genuino ambiente del Citarum. En las orillas de los recodos y en las áreas adyacentes vive una población de aproximadamente 3.000 habitantes; las deficientes condiciones de sanidad en el área, combinadas con pequeñas actividades industriales y agrícolas, son una amenaza para la calidad del agua y para el ambiente del Recodo. En vista de la situación, la UNESCO ha promovido un proceso participativo que involucra a varias agencias de las Naciones Unidas, universidades, institutos de investigación, instituciones gubernamentales y ONGs, para la implementación de un proyecto piloto en el marco del programa SWITCH-en-Asia, un programa integrado e innovador que busca una Gestión Sustentable del Agua en las Ciudades de Asia. El enfoque incluye el desarrollo de sitios de demostración, sensibilización, capacitación, apoyo a I+D para suministrar a las personas clave locales y nacionales las capacidades y herramientas que les permitan generar soluciones de acuerdo a las necesidades específicas encontradas, al igual que la conversión de los Recodos del Citarum, desde vertederos de residuos hacia proveedores de servicios ecosistémicos para la Cuenca del Río Citarum.

1 Antecedentes

La cuenca del Río Citarum es un recurso hídrico importante en Indonesia. Esta cuenca es la cuenca de río más estratégica del país, con una población de casi 28 millones de personas en 2004 (más del 72% del total de la provincia). Hay tres presas hidroeléctricas localizadas en la parte superior de la cuenca que producen un agregado de 1.400 megavatios hora. El área total de tierra agrícola irrigada es de más de 400.000 Km^2. El sistema del Río Citarum también suministra 80% del agua cruda de Yakarta. Los recursos de agua de los ríos y sistemas de agua subterránea de la cuenca son críticos para el desarrollo social y económico del país. Éstos son esenciales para el desarrollo urbano e industrial (particularmente en las áreas de Yakarta y Bandung), incluyendo la industria de la exportación, la producción agrícola a través de sistemas principales de irrigación, el suministro de agua rural, la generación eléctrica a través de hidroeléctricas, y la pesca. A pesar de que los recursos hídricos de la Cuenca del Río Citarum son relativamente abundantes (en promedio), la competencia por los mismos ha aumentado significativamente en los últimos 20 años, lo que ha llevado a una situación de escasez aguda y agotamiento de los acuíferos en algunos lugares. La rápida urbanización ha aumentado significativamente la exposición a riesgos de inundaciones y la

generación de contaminación. La degradación ambiental ha alcanzado un nivel que compromete la salud pública y los medios de subsistencia, particularmente para los pobres urbanos y rurales, e incurre en costos económicos y financieros adicionales relacionados el suministro y tratamiento del agua. Ha habido una gran cantidad de investigaciones y discusiones sobre el mejoramiento de la condición de la cuenca, especialmente en relación al problema de la contaminación, pero hasta ahora no ha habido un mejoramiento significativo. En vista de que el área es tan grande, su gestión involucra una amplia variedad de partes interesadas, causando conflictos severos y complejos entre sus respectivos intereses.

En octubre de 2008, Indonesia y el ADB (Banco Asiático de Desarrollo) firmaron un Acuerdo Marco de Financiamiento (FFA, por sus siglas en inglés) para que la Facilidad de Financiamiento Multitranche (MFF en inglés) financie, a través del Programa de Inversiones (IP en inglés), $921 millones en apoyo a la implementación de la Hoja de Ruta para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Citarum (RCMU, 2010). La hoja de ruta ha mostrado que el Programa Integrado de Inversión para la Gestión de los Recursos de Agua del Citarum (ICWRMIP en inglés) necesitará un total de $3,5 mil millones hasta el 2023.

El proyecto actual ha sido aceptado en la hoja de ruta del Citarum como parte de las contribuciones de "Otros Donantes".

Calidad del agua en el Río Citarum

La contaminación del agua superficial en la cuenca Superior del Citarum (aguas arriba del embalse de Saguling) ha alcanzado una magnitud alarmante. El contenido de la DBO en todas las ubicaciones del Citarum superior es relativamente alta, y varía desde los 11 mg/l hasta los 36 mg/l. El contenido más alto de DBO, de 36 mg/l, se observó en Curug Jompong, en la entrada del embalse de Saguling (West Java EPA, 2008). La concentración de bacterias patógenas, oxígeno disuelto, amoníaco, fósforo y metales pesados normalmente excede los estándares de calidad en la estación seca (mayo-octubre).

Recodos del Citarum

Los recodos son las partes sinuosas de los ríos que han sido separadas del río principal por trabajos de ingeniería destinados a regular o desviar el flujo del Río Citarum. Hay 11 de tales Recodos ubicados a lo largo de la parte superior del Río. Por ejemplo, el área de Recodo cercana a los Distritos de Dayeuh Kolot y Bojongsoang es actualmente un pantano lleno de basura y criadero de mosquitos, que continuamente causan enfermedades a la comunidad y a los ecosistemas que están a su alrededor. No obstante, estos recodos podrían convertirse en proveedoras de servicios ecosistémicos en caso de que sus funciones hidrológicas y ecológicas fueran restauradas y mejoradas, en lugar de permanecer como un riesgo para la comunidad y para el ambiente.

Soluciones de SWITCH-en-Asia

En el marco del programa SWITCH-*en-Asia,* un programa integrado e innovador para la Gestión Sustentable del Agua en las Ciudades de Asia, la UNESCO ha promovido un proceso participativo que involucra a varias agencias de las Naciones Unidas, universidades, institutos de investigación, instituciones gubernamentales y ONGs. Utilizando los tres enfoques de SWITCH-*en-Asia*: investigación-acción, desarrollo de sitios de demostración y sensibilización, el proyecto piloto aspira a transformar los recodos del Citarum de depósitos de basura a proveedores de servicios ecosistémicos para la Cuenca del Río Citarum.

2 Ubicaciones del proyecto

Para facilitar el proceso participativo, en mayo de 2009 la UNESCO reunió a varias oficinas del gobierno, como el Ministerio de Obras Públicas (PU), el Instituto Indonesio de Ciencias (LIPI), la Agencia de Protección Ambiental de Java Occidental (BPLHD) y a varias universidades, para llevar a cabo un taller de dos días para definir dónde se ubicaría el proyecto y qué actividades se implementarían; se acordó entonces enfocarse en los recodos de la Cuenca superior del Río Citarum.

El sitio del Proyecto está ubicado específicamente en los recodos de Dara Ulin (50 hectáreas) y de Mahmud (16 hectáreas), los cuales resultaron de una desviación (normalización) pasada del río (Fig. 1). Ambos recodos son ecosistemas relativamente preservados que merecen ser sustentados y mejorados como sitios prístinos muestra del ambiente genuino del Citarum. Las amenazas a la calidad de sus aguas y al ambiente provienen de la deficiente sanidad de sus asentamientos.

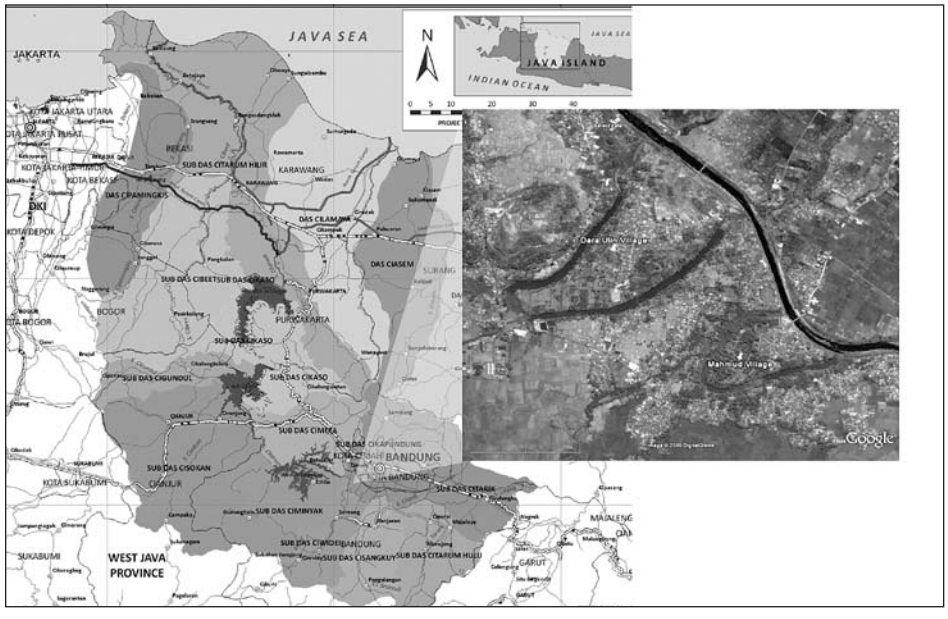


Fig. 1 Ubicación del Proyecto.

Algunos esfuerzos se han llevado a cabo en el Recodo de Dara Ulin por parte de una ONG local llamada Warga Peduli Lingkungan (WPL), la cual ha incurrido en la plantación de árboles frutales, las sensibilización, y la construcción de un tanque séptico comunal con tuberías primarias para 200 hogares (1000 personas). Las instalaciones y los servicios del sistema han sido hasta ahora administrados por la comunidad, capacitada por la ONG antes de la construcción del tanque. Los habitantes gradualmente han construido sus propios servicios sanitarios y realizado las conexiones al sistema, asumiendo ellos el costo. Hoy en día hay casi 160 hogares conectados ya al sistema. Aun así, la instalación existente tiene varios inconvenientes; la limitada capacidad de retención de los compartimientos y el excesivo flujo efluente no permiten suficiente tiempo de residencia para que los residuos se asienten y se procesen. Otro problema es que el efluente no tratado del tanque séptico es descargado directamente al recodo, y por tanto el tanque séptico en realidad ha aumentado, antes que reducido, la contaminación.

El Recodo de Mahmud es un lugar de turismo religioso con servicios sanitarios comunales que descargan sus aguas residuales directamente en el recodo. No ha habido esfuerzos hasta ahora para tratar las aguas residuales de la comunidad de Mahmud, por lo tanto se asume que la calidad del agua en el recodo disminuirá con el tiempo.

3 Objetivo principal

Transformar los Recodos del Citarum de vertederos de residuos a proveedores de servicios ecosistémicos para la Cuenca del Río Citarum.

4 Enfoque del proyecto

El proyecto busca adoptar un enfoque comunitario para el suministro de tres tipos de servicios al ecosistema, utilizando los principios de eco-hidrología a lo largo de los recodos:

- Servicios de aprovisionamiento: alimentos, agua dulce, materias primas, recursos genéticos y recursos medicinales
- Regulación de servicios: regulación del agua, purificación del agua, control de la erosión, regulación de plagas, regulación de riesgos naturales y regulación de calidad de suelos
- Servicios culturales: valor estético, recreación, ecoturismo y valores culturales.

5 Componentes y actividades del proyecto

El proyecto se basará en los tres principales componentes de SWITCH-*en-Asia*: investigación-acción, demostración y fortalecimiento de la capacidad.

Los componentes del proyecto serán apoyados por una Alianza de Aprendizaje[1] como plataforma para apoyar la innovación, la investigación, la diseminación del conocimiento y la optimización de las relaciones entre organizaciones de investigación, gubernamentales y educativas en el campo de la Gestión del Agua Urbana (UWM, por sus siglas en inglés). Las Alianzas de Aprendizaje han surgido en respuesta al fracaso generalizado de muchas de las investigaciones convencionales en tener impactos significativos. Asimismo, surgen también en respuesta al reconocimiento de que los nuevos productos y procesos son generados no solamente por actividades de los investigadores, sino a través de las actividades de un número de actores y organizaciones muy diferentes. Este grupo de protagonistas interconectados típicamente incluyen al sector público (por ej., ministerios, servicios públicos, reguladores, educadores, institutos de investigación), el sector privado (por ej., la industria, los servicios financieros), y la sociedad civil (por ej., ONGs, medios de comunicación, órganos profesionales y sindicatos, órganos de defensa).

La alianza de aprendizaje está apuntando a facilitar la comunicación y compartir la experiencia entre socios (dentro de un país al igual que dentro de una región). El programa regional trabajará para desarrollar, aplicar y demostrar un rango de soluciones científicas, tecnológicas y socioeconómicas probadas, así como enfoques que contribuyan al desarrollo de esquemas efectivos y sustentables de UWM en las Ciudades de Asia, asentamientos humanos y sus correspondientes captaciones.

Varias encuestas de campo, al igual que estudios de gabinete, han sido llevadas a cabo en los recodos para definir el componente de investigación-acción. Los resultados muestran que el área está mayormente cubierta de llanuras de inundación y depósitos de abanicos aluviales de la Edad Holocena, sustentados por rocas volcánicas del Pleistoceno (Sunardi, 1997). La porosidad y la permeabilidad de

1 Una alianza de aprendizaje es una agrupación de organizaciones constitutivas de un sistema en particular, que trata de llevar una innovación relevante a una mayor escala. Mientras más representativa sea la alianza, mejor capturará las complejidades organizacionales que constituyen las realidades del sistema de innovación.

los depósitos aluviales son muy altas. La recarga procedente de las precipitaciones varía desde más o menos 30 a 50% para el acuífero superficial, y un 10-20% hasta el acuífero profundo, (Pulawski y Obro, 1976; IWAO-WASEO, 1991).

La principal fuente de contaminación del agua subterránea, especialmente en el acuífero superficial, es debida tanto a las aguas residuales domésticas y las actividades de las pequeñas industrias, como en menor medida a las actividades agrícolas, las cuales están predominantemente determinadas por la extracción de agua subterránea; la profundidad del agua subterránea, la permeabilidad y el tipo de materiales a través de los cuales el agua se infiltra determina la cantidad y el tipo de los contaminantes que llegan al acuífero.

El componente de investigación-acción se enfocará en las interacciones hidrológicas, hidrogeológicas, hidro-químicas y eco-hidrológicas, así como en la evaluación de los patrones sociales y en la existencia de regulaciones aplicables a los recodos.

El componente de fortalecimiento de la capacidad y empoderamiento de la comunidad jugará un importante rol en la sostenibilidad del proyecto. En particular, el proyecto aumentará la conciencia de las comunidades locales sobre la conservación, utilización y protección de los recursos naturales, al seguir los principios de las 4 Rs (Reducir, Reutilizar, Reciclar y Rediseñar); sensibilizará sobre la limpieza, el saneamiento, la apropiada disposición de los residuos y la importancia de la pureza del agua; promoverá la participación en la planificación y la gestión de los recursos hídricos, en la administración de las cuencas y de los desechos sólidos; aumentará el conocimiento público con respecto a los ecosistemas, la eco-tecnología y la eco-hidrología a través de conceptos de "escuela verde", y fomentará la toma de conciencia sobre la Reducción del Riesgo de Desastres.

Cuatro pasos interrelacionados deben ser considerados para el manejo de los servicios de alcantarillado y saneamiento: (1) reducir el uso del agua y por tanto de la producción de aguas residuales; (2) tratar el agua residual con el propósito de recuperar y reutilizar recursos valiosos (nutrientes, energía y agua); (3) reciclar el agua residual después de la purificación (principalmente para propósitos de irrigación); (4) rediseñar sistemas de recolección, purificación, distribución y almacenamiento para adaptar y utilizar localmente métodos eco-hidrológicos renovados (capacidad de auto-purificación de fito plantas en cuerpos naturales de agua).

El componente de demostración se enfocará en desarrollar e implementar eco-tecnologías (Figuras 2 y 3) para alcantarillado y tratamiento de efluentes con miras a un uso racional del agua, permitiendo el tratamiento del efluente en combinación con la recuperación y reutilización de recursos; también se enfocará en desarrollar e implementar conceptos y principios eco-hidrológicos (Fig. 4).

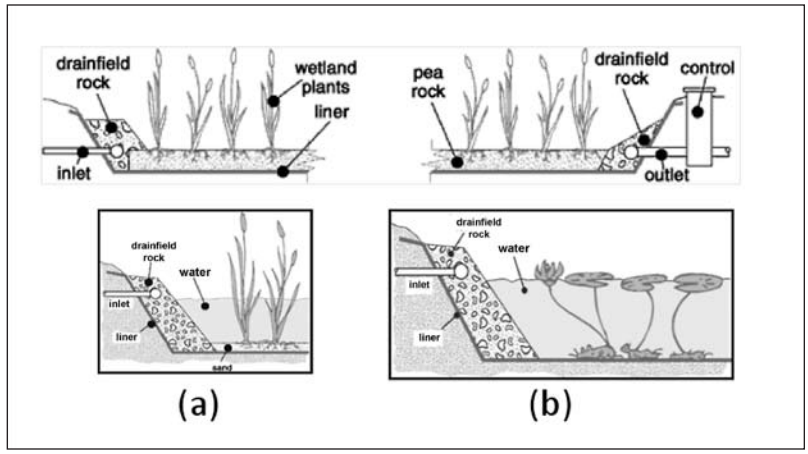


Fig. 2 Humedales Construidos de Flujo Sub-superficial (figura de arriba) y de Flujo Superficial (figuras de abajo), (a) en aguas abiertas e (b) hidropónico.

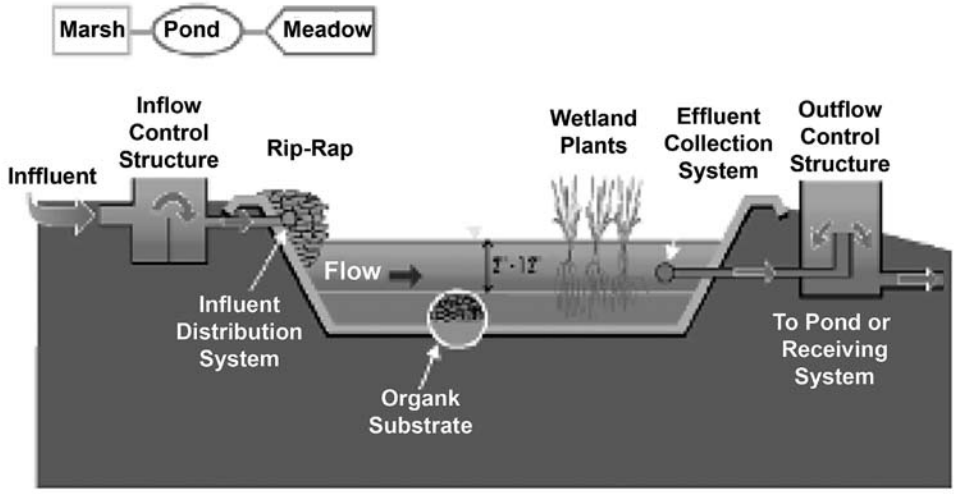


Fig. 3 Diseño conceptual de un biofiltro que utiliza fito-tecnologías con sedimentación, purificación bio-geoquímica y componentes de bio-filtración.

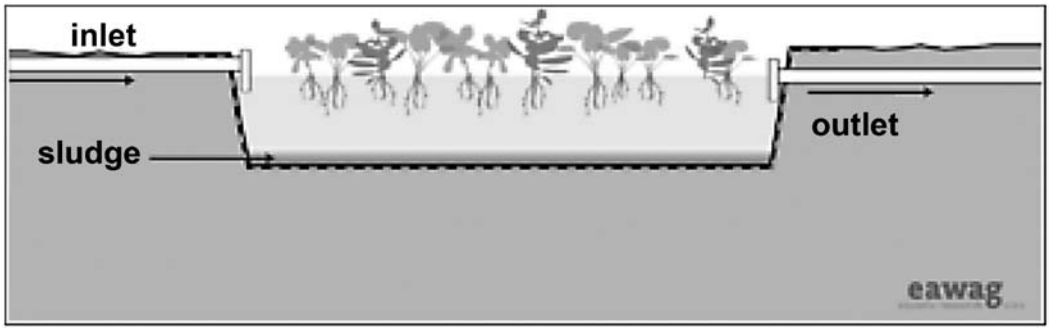


Fig. 4 Biofiltro con plantas acuáticas flotantes.

Esto podrá lograrse estimulando los procesos de auto purificación natural en los recodos, al igual que construyendo instalaciones de saneamiento simples para la recolección y disposición del efluente, desarrollando sistemas de recolección y reciclado de desechos sólidos.

REFERENCIAS

Pulawski and Obro. (1976) Groundwater study of a volcanic area near Bandung, Java, Indonesia. *J. Hydrology* **28**, p. 53-72.

IWAO-WASEO. (1991) *Bandung hydrogeological study, West Java provincial water sources master plan*, Jakarta, 111p.

Sunardi. (1997) *Magmatic polarity stratigraphy of the plio-pleistocene volcanic rocks around the Bandung basin, West Java, Indonesia*. Doctoral thesis, Osaka University, unpublished, 5-11p.

Rofiq Iqbal. (2010) *Strategies on Establishment of Bio-Eco Engineering System for Watershed Management* (2010 proposal).

Roadmap Management and Coordination Unit (RCMU). (2010) *Integrated Citarum Water Resources Management Investment Program Summary*.

Manejo de micro-cuencas y sistemas micro-hidroeléctricos como herramienta para desarrollo comunitario y conservación de biodiversidad

NELSON ULLOA
Proyecto Promoviendo Manejo Integrado de Ecosistemas y Recursos Naturales en Honduras, Honduras
nulloa@yahoo.com

Resumen El Proyecto "Promoviendo Manejo Integrado de Ecosistemas y Recursos Naturales en Honduras" (proyecto Ecosistemas), que ejecuta el Instituto de Conservación Forestal (ICF), con el apoyo del PNUD-GEF, presenta el siguiente resumen de ponencia Ante el Simposio Global 2011 "Construyendo Caminos de Conocimiento para un Futuro con Sostenibilidad Hídrica". La Reserva de Biosfera Rio Plátano está ubicada en el oriente de Honduras, una región de alta biodiversidad. A pesar de su estatus declarado por UNESCO, la reserva y la diversidad biológica que contiene están amenazados por actividades agropecuarias, malas prácticas de aprovechamiento forestal y cacería ilegal. El valle de Sico-Paulaya forma parte de la zona de amortiguamiento de Río Plátano. El Proyecto Ecosistemas está trabajando con dos comunidades pilotos para combatir la degradación ambiental, a través de la declaración de micro-cuencas y su manejo comunitario. Para contribuir al desarrollo local, el proyecto, junto con otros actores, ha implementado dos sistemas micro-hidroeléctricos de 11 y 15 Kw en estas dos comunidades remotas, fuera de la red eléctrica nacional. Los beneficios de los sistemas micro-hidroeléctricos no se limitan a la provisión de electricidad. Mientras ambas comunidades actualmente traen combustible para iluminación, sus cooperativas agroforestales también la necesitan para procesar caoba certificada (FSC), que comercializan para cuellos de las guitarras Gibson y Taylor. La energía limpia generada facilita el uso de mejores tecnologías con menor costo, ayudando a las cooperativas mejorar su producto y por ende su rentabilidad y sostenibilidad económica. En total hay una reducción anual de casi 4.800 galones en uso de combustibles fósiles, y protección de 2.500 ha en promedio. Concretando los beneficios que trae un ecosistema sano, se ha logrado un compromiso de la población local para conservar el bosque y aprovechar de manera sostenible los recursos naturales. Más allá de esto, este mecanismo de desarrollo local y conservación de ecosistemas está siendo institucionalizado a nivel nacional, mediante el diseño de una política del Instituto de Conservación Forestal.

Palabras clave Gestión; provisión y beneficios socioeconómicos de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos

Análisis y predicción de riesgo ecológico vegetal bajo el impacto de la explotación de aguas subterráneas en el área de Wulannao, Cuenca de Ordos, China

SU XIAOSI Y WANG WEI
Instituto de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Universidad de Jilin, Changchun, China
suxiaosi@jlu.edu.cn

Resumen la cuenca de Ordos, una fuente importante de recursos energéticos e ingeniería química en China, está ubicada en una zona árida, con escasez de agua superficial. Las necesidades de desarrollo regional son suplidas con agua subterránea. Cuando la extracción de aguas subterráneas supera el nivel de agua adecuado para la vegetación nativa se generan riesgos a la vegetación. La evaluación cuantitativa del riesgo ecológico puede brindar una guía para la protección ecológica de la vegetación y la explotación sostenible de los recursos hídricos subterráneos. En este estudio se seleccionó el área de Wulannao, fuente de aguas subterráneas en China, como un ejemplo para analizar la relación matemática entre la profundidad y el nivel de agua subterránea; y se utilizó la profundidad como variable para establecer un índice de riesgo ecológico a la vegetación. El área de estudio del riesgo ecológico de la vegetación fue analizada con apoyo de SIG y Modelflow Visual. De acuerdo con el nivel de riesgo, el área de estudio se dividió en diversas zonas de riesgo.

Palabras clave simulación numérica de las aguas subterráneas; nivel de agua ecológicamente adecuado, riesgo ecológico de la vegetación, explotación de aguas subterráneas

1 Introducción

La cuenca Ordos es rica en carbón, petróleo, gas natural y otros recursos minerales, y se ha convertido en una importante base energética en China. Debido a que esta cuenca se encuentra en zonas áridas y semiáridas con escasez de aguas superficiales, el agua subterránea es la fuente utilizada para satisfacer las necesidades de desarrollo regional. Las aguas subterráneas de Wulannao, área localizada en el noreste de la cuenca Ordos, al oeste del Condado de Yijinhuoluo, Ciudad de Ordos, en la Región Autónoma de Mongolia Interior, cuenta con abundantes recursos de agua subterránea y es un sitio potencial de extracción de agua para la base energética de Shenhua.

Estudios previos muestran que la explotación de agua subterránea cambia el estado natural del sistema de agua subterránea. La alteración del proceso hidrológico subterráneo tendrá un efecto inevitable sobre la vegetación local y el entorno ecológico, lo cual genera riesgo ecológico. El riesgo se refleja principalmente en el cambio del manto freático (Zhang Mao-sheng, 2008). La reducción del recurso hídrico subterráneo provocará una degradación de la vegetación o más aún, su reemplazo. En esta investigación, el método de análisis de Gauss ha sido utilizado sobre la base de las matemáticas de la ecología vegetal para establecer la relación entre el nivel freático y la presencia de vegetación; luego, se simuló el modelo numérico de flujo de agua subterránea y se pronosticó el nivel freático bajo un escenario de explotación futura, para finalmente estimar el riesgo ecológico causado por la explotación.

2 Escenario hidrogeológico

El área de Wulannao, una fuente de agua subterránea, se encuentra en el oeste de la ciudad de Ordos, área autónoma de Mongolia Interior, China (Fig. 1). El área de estudio es de 1.665 km^2, pertenece a la meseta de Ordos, con una elevación que oscila entre 1300 y 1500 m. Esta área es árida, con un clima continental semi-árido, una precipitación promedio anual de 321,16 mm y un promedio anual de evaporación de 2350,4 mm.

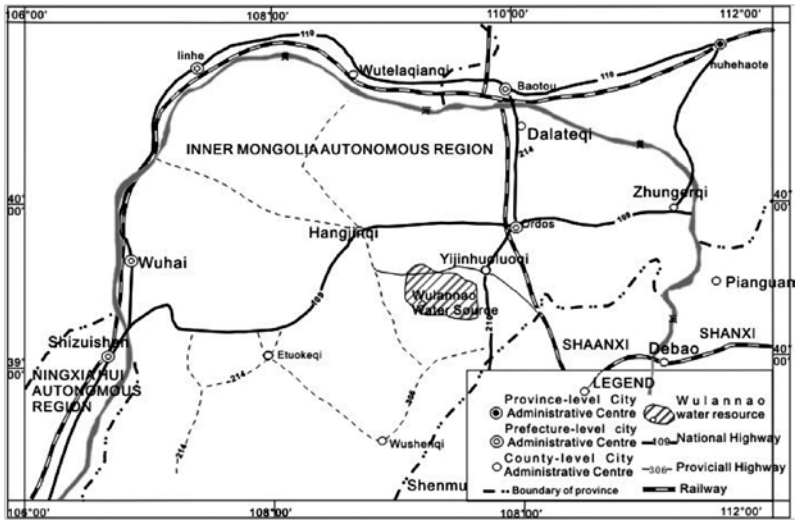


Fig.1 Ubicación del area de estudio.

Los estratos en esta área se componen de piedra arenisca del Cretácico inferior y depósito no solidificados del Cuaternario. Los acuíferos principales del área de estudio son del período cuaternario y del Cretácico. El acuífero Cuaternario es siempre de 1 a 5 m de espesor y contiene sedimentos del lago, sedimentos eólicos y sedimentos aluviales. El acuífero Cretácico se compone de la formación de acuíferos Huanhe y Luohe. La formación acuífera Huanhe es el acuífero objetivo para suministro de agua subterránea caracterizado por su gran espesor. Combinando datos de perforación hidrogeológica y los resultados de prospección geofísica, el sistema de acuífero en el área de estudio se divide en acuífero confinado y acuífero no confinado. El acuífero no confinado se compone de los acuíferos del Cuaternario y de la parte superior del acuífero del Cretácico; mientras que el acuífero confinado está compuesto por la parte inferior del acuífero Cretácico inferior. Entre ambos existe un acuitardo cuya litología se compone de limolita y lutita.

3 Modelo Gaussiano de Distribución de la ecología vegetal

La investigación de la ecología cuantitativa muestra que la mayoría de los factores de vegetación y del ambiente encajan en los modelos de curvas cuadráticas no lineales, y que el modelo Gaussiano es el más representativo, como se muestra en la Ecuación 1. Cada tipo de vegetación tiene su propio intervalo ecológico adecuado de profundidad de aguas subterráneas. Cuando la profundidad de las aguas subterráneas se encuentra en este intervalo, el crecimiento de la vegetación se puede lograr mejor. Sin embargo, cuando se excede este intervalo, el crecimiento de la vegetación se inhibe (Zhang Jin-tun de 2004).

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Donde *x* se refiere a la profundidad del agua subterránea, *f(x)* se refiere a la abundancia de la vegetación, y μ,σ se refiere a los parámetros del modelo de Gauss. La Ecuación 1 también se puede escribir de la siguiente forma:

$$f(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}+\frac{x\mu}{\sigma^2}-\left[\frac{\mu^2}{2\sigma^2}+\ln\left(\sqrt{2\pi\sigma}\right)\right]} \quad (2)$$

La ecuación 2 muestra la biomasa y factores ambientales en línea con la forma del modelo exponencial:

$$f(x)=e^{ax^2+bx+c} \quad (3)$$

4 Cambio de la profundidad de las aguas subterráneas en explotación

Toda el área de estudio fue seleccionada para la región modelo. El sitio planificado para este estudio fueron las aguas subterráneas alrededor de Wulannao y Qihenao (Fig. 1). Sobre la base de las condiciones hidrogeológicas, el sistema acuífero puede ser generalizado en acuífero confinado y acuífero no confinado. El acuífero no confinado se compone de los acuíferos del Cuaternario y la parte superior del acuífero del Cretácico inferior, con un espesor de 30-50 m. El acuífero confinado se compone de la parte inferior del acuífero del Cretácico inferior, con un espesor de 200-300 m.

Para el acuífero no confinado, las fronteras del norte, este, oeste y sur-este son las divisorias de aguas subterráneas, y la frontera suroeste es perpendicular a la línea equipotencial del agua no confinada; el límite del agua no confinada se define como límite sin flujo. Sin embargo, para el acuífero confinado, los límites del suroeste, norte, estos son paralelos a la línea equipotencial de las aguas subterráneas; estos se definen como límites de dirección específica, y los otros son paralelos a las corrientes de agua; y lejos de los recursos hídricos, la explotación de agua subterránea no afectan a estos límites, por lo que se han establecido como límites sin flujo.

El límite superior del sistema de aguas subterráneas en el área de estudio es el nivel freático –la precipitación y la evapotranspiración pasan a través del mismo. Los acuíferos confinados y no confinados intercambian el agua a través del acuitardo. El espesor del acuífero del Cretácico es grueso, y actualmente la profundidad de explotación está sólo dentro de los 350 metros, por debajo de los cuales también se encuentra piedra arenisca del Cretácico; de allí que la profundidad de 450m se definió como el límite sin flujo. Los parámetros de la hidrogeología de la zona de estudio son obviamente diferentes, por lo que los parámetros del acuífero se consideran heterogéneos e isotrópicos. El flujo de agua en el acuífero ocurre de acuerdo con la Ley de Darcy, y el flujo de agua subterránea ocurre en un flujo transitorio.

Se ha utilizado Visual Modflow 4.0 para establecer el modelo numérico y resolver la ecuación diferencial. El área de estudio se subdividió en 6660 células, de un tamaño de 500 m x 500 m cada una. Luego de la calibración y verificación del modelo, la diferencia entre el nivel de agua simulado y el nivel de agua medido en 17 pozos de observación fue de menos de 0,5 m, donde el flujo neto simulado y el flujo neto medido fueron similares.

5 Evaluación y predicción del riesgo ecológico a la vegetación por la explotación del agua subterránea

Índice de evaluación del riesgo

La constante explotación del agua subterránea ocasiona una disminución del nivel del agua cuando la profundidad del nivel freático excede cierto intervalo. El crecimiento de la vegetación se verá restringido y las comunidades vegetales podrán exponerse a un riesgo de dismunición. Para describir cuantitativamente este tipo de riesgo, la profundidad del agua subterránea se seleccionó como variable para establecer el índice de evaluación del riesgo ecológico de la vegetación, de acuerdo con el modelo de relación de vegetación total y abundancia y profundidad del nivel freático. Ver la Ecuación 4:

$$R = \frac{f_N - f_P}{f_S} \times 100\% \tag{4}$$

Donde f_N es la abundancia total de vegetación bajo la actual profundidad del nivel freático, f_P es la abundancia total de la vegetación bajo la profundidad pronosticada del nivel freático, f_S es la abundancia total de vegetación bajo la profundidad de nivel freático adecuado, f_N - f_P ilustra el cambio de abundancia total de vegetación ocasionada por un cambio en el nivel de agua subterránea, y R es el índice de riesgo (%).

El índice de riesgo (R) puede mostrar el cambio de vegetación bajo las condiciones de cambio del nivel de agua. En esta ecuación, cuando el nivel de agua subterránea no cambia, R será igual a 0. En áreas de gran profundidad del agua subterránea donde R es menor que 0.1, la demanda de agua para el crecimiento vegetal depende de la lluvia y la condensación de agua, por lo que el cambio en el nivel de agua subterránea no afecta a la vegetación. Cuando la profundidad del manto freático es entre 3 y 5 m (donde R es mayor que 0.5), la disminución del agua subterránea podrá causar una degradación significativa en la vegetación local. De acuerdo con los valores de R que representan la severidad de los cambios en la vegetación, el área de estudio se ha dividido en zonas de: alto riesgo ($R > 0,5$), riesgo medio ($0,3 < R < 0,5$), riesgo bajo ($0,1 < R < 0,3$) y zona segura ($R < 0.1$).

Evaluación del riesgo ecológico a la vegetación

De acuerdo con los resultados de la simulación numérica, la evaluación del riesgo ecológico a la vegetación bajo condiciones de explotación de agua subterránea se muestra en la Fig.2.

Las zonas de alto riesgo ecológico para la vegetación se localizan principalmente alrededor del sitio donde está la fuente de agua subterránea. Luego de 10 años de explotación del agua subterránea, el nivel del agua en el área central de explotación en el acuífero confinado ha reducido hasta 9-16 m, y en el nivel de agua no confinada ha bajado 2-4 m, con la profundidad del nivel freático de 4 a 5 m, lo cual es mayor que la profundidad de agua subterránea adecuada para la vegetación de baja humedad. La vegetación actual se degradará y el tipo y cantidad de vegetación descenderá obviamente. Las zonas de riesgo medio se encuentran principalmente fuera del área central de explotación, a lo largo de la playa del lago, donde la vegetación de baja humedad puede crecer y no habrá cambios mayores en la ecología vegetal. Las zonas de bajo riesgo se distribuyen principalmente en el norte y noreste del área de estudio, y la vegetación ahí continuará con un crecimiento normal. Las zonas seguras están principalmente distribuidas en las áreas elevadas del manto rocoso, y la profundidad del agua subterránea es mayor que otras áreas donde la vegetación no es dependiente de ella.

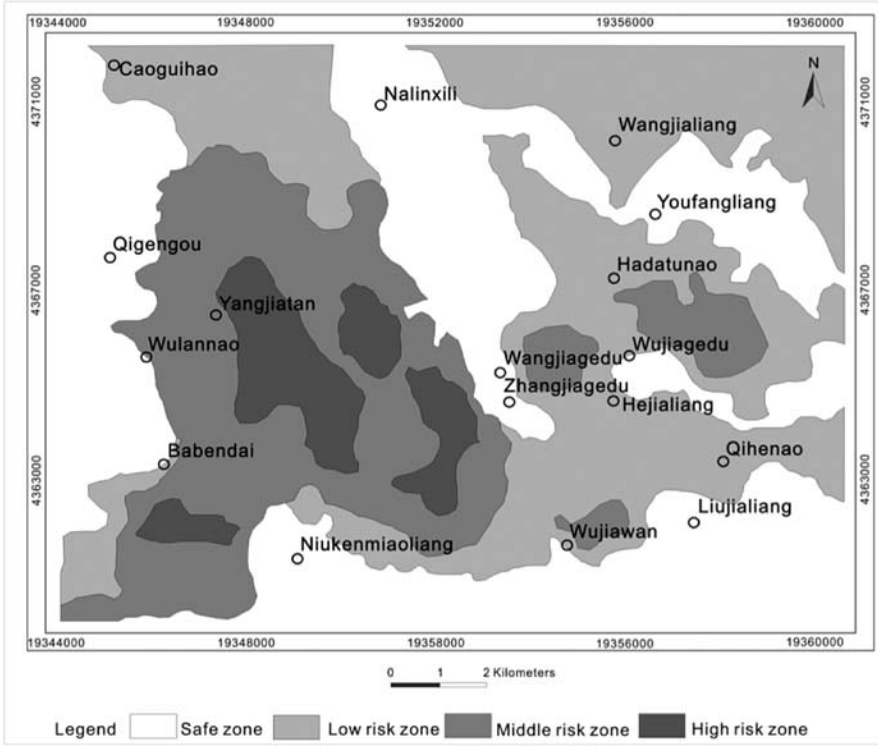


Fig.2 Mapa de zonas de riesgo ecológico a la vegetación.

A través del análisis y evaluación del riesgo, la explotación de agua subterránea en Wulannao ejerce pocos impactos ecológicos en la vegetación, excepto en la zona central. Los cultivos artificiales y la prohibición del pastoreo pueden prevenir efectivamente el deterioro del ambiente ecológico.

6 Conclusiones

- La profundidad del agua subterránea es un factor importante que controla la ecología de la vegetación, y el método de ecología cuantitativa es útil para el establecimiento de la relación cuantitativa entre la vegetación y el nivel de agua subterránea en áreas áridas y semi-áridas.
- De acuerdo con los resultados de la predicción, el riesgo ecológico causado por la explotación de agua subterránea es bajo.
- Plantar artificialmente vegetación resistente a la sequía es de significancia para la protección ecológica de la vegetación.
- La evaluación del riesgo ecológico de la vegetación es de significancia para la protección ecológica de la vegetación.

REFERENCIAS

ZHANG Mao-sheng, LU Na, CHEN Jin-song. (2008) Ecological effects of vegetations during groundwater exploitation in the Northern Shaanxi Energy & Chemical Industry Base, China [J]. *Geological Bulletin of China* 27(8):1299- 1312.

ZHANG Jin-tun. (2004) *Quantitative ecology* [M], Beijing , Science Press.

4. Vínculos entre el agua, seguridad alimentaria y energía

Renovación de la hidrología en la cuenca del Río Gagas: estrategias impulsadas por comunidades

ANITA PAUL Y KALYAN PAUL
Pan Himalayan Grassroots Development Foundation, Uttarakhand, India
apaul@grassrootsindia.com

Resumen Las comunidades de montaña son conocidas por ser resistentes y capaces de adaptarse a los cambios en los paisajes ecológicos. Sistemas del conocimiento indígena basado en el respeto, en relación con la "abundancia de la naturaleza", han guiado sus patrones de vida durante generaciones. La Fundación Pan Himalayan de Desarrollo de Base (Pan Himalayan Grassroots Development Foundation) ha participado en un programa impulsado por la comunidad en la cuenca del río Gagas en la Región India del Himalaya durante casi una década, y esta idea ha sido apoyada por la HELP-UNESCO desde su creación. A través de los años, se ha demostrado cada vez más que las comunidades, dirigidas en gran parte por mujeres de familia, han sido capaces de organizarse para renovar el ciclo hidrológico en la cuenca del río, a través de la adopción de un enfoque descentralizado en el que cada pueblo en varios tipos de ecosistema de la cuenca del río ha sido impulsado a la acción. Las ideas y acciones que se han desarrollado en la cuenca de este río para la adaptación y la mitigación de las vulnerabilidades del cambio climático, así como las formas de asegurar medios de vida sostenibles para las generaciones futuras, sirven de lección para varias otras cuencas fluviales que languidecen.

Palabras clave Renovación de la hidrología; estrategias impulsadas por la comunidad; seguridad ecológica

1 Introducción

Este estudio de caso está basado en la Cuenca del Río Gagas, en el estado de Uttarakhand, en la región Himalaya de la India central. Con una superficie geográfica de 53.000 kilómetros cuadrados, este es el cuarto estado más grande del Himalaya, con una población de 8,5 millones, representando el 22 por ciento del total de la Región India del Himalaya (RIH). Este documento intenta reunir las experiencias de campo de las estrategias impulsadas por la comunidad para la renovación del ciclo hidrológico en la cuenca del río y la búsqueda de la restauración de un nuevo equilibrio en sus vidas, en tiempos de cambio climático.

El Cambio Climático está exponiendo a los residentes de la cuenca a mayores riesgos naturales, al estrés ambiental en términos de presiones bióticas sobre los escasos recursos, y al agotamiento de los recursos hídricos a un ritmo sin precedentes, mucho más allá de la capacidad natural de adaptación. La calidad de vida parece haber sido afectada profundamente, dando lugar a cambios en el desarrollo ecológico-socio-económico que afectarán a las generaciones futuras. La crisis en esta cuenca fluvial podría ser descrita como típica de otros sistemas fluviales que languidecen en el Himalaya Indio.

Con el fin de abordar estos temas de una manera integral, La Fundación Pan Himalayan de Desarrollo de Base (Grassroots) ha estado involucrada en la eco-restauración de la Cuenca del Río Gagas en el distrito de Almora, Uttarakhand, India, durante casi una década, y su trabajo ha sido respaldado por UNESCO-HELP como parte de sus esfuerzos globales para la restauración de sistemas fluviales que languidecen.

Grassroots ha sido establecida como una organización voluntaria sin fines de lucro, con el objetivo principal de iniciar la acción de base con la gente, para la restauración de la seguridad ecológica de las cuencas hidrográficas que languidecen, a través de programas holísticos del desarrollo integral de la montaña, con el fin de mejorar la calidad de vida. La pérdida o la falta de títulos a bienes ambientales es vista por Grassroots como un componente adicional de la pobreza, lo que lleva a la conclusión de que la conservación del medio ambiente es en realidad un requisito fundamental

para mitigar la pobreza. Conceptos como el desarrollo sostenible de la montaña no dejarán de ser un espejismo en el desierto, a menos que los ecosistemas forestales se restauren para las funciones adecuadas del reciclaje hidrológico y de nutrientes.

2 Características geográficas de la cuenca del Río Gagas

La Cuenca del Río Gagas cubre un área aproximada de 510 km^2 y se encuentra entre las latitudes 29° 51' 55" N y 29° 35' 49" N, y longitud 79° 20' 36" y 79° 33' 15" en el distrito de Almora, Uttarakhand, India. Esta cuenca tiene un total de 373 aldeas, con una población de 1.200.000 y un alto índice de alfabetización (74%). El patrón de uso del suelo en la cuenca es el siguiente:

a.	Aldeas Forestales (Comunes Comunitarios)	5.800 hectáreas	= 12 %
b.	Reserva Forestal (Gobierno)	10.500 hectáreas	= 21 %
c.	Tierra Agrícola	19.200 hectáreas	= 38% (sólo 7 % irrigada)
d.	Tierra Baldía Cultivable	8.700 hectáreas	= 17 %
e.	No disponible para el cultivo	5.800 hectáreas	= 12 %

La topografía de la región varía de 2.746 metros sobre el nivel del mar en la cabecera, en la parte nororiental de la cuenca, a 762 metros sobre el nivel del mar, en la desembocadura del río, en la parte occidental de la cuenca.

3 Impactos ecológicos, sociales y económicos

Históricamente, la cobertura vegetal en la cuenca del río ha sido clasificada como templada, dominada por el Roble (*Quercus leucotrichophora*), un árbol de hoja ancha perenne que crece mejor en suelos húmedos. La sustitución de especies nativas con casi un monocultivo de bosques de Pino (*Pinus roxbughii*) parece haber dado lugar a un cambio en la hidrología, en las condiciones del suelo, así como en la prevalencia en la cuenca de especies asociadas de plantas. El aumento de incendios forestales en las últimas dos décadas está dificultando aún más la conservación de la biodiversidad, la cual es esencial para la renovación de la hidrología. Los datos recogidos por hidrólogos en las distintas estaciones hidro-meteorológicas revelan que el número de días lluviosos ha disminuido a lo largo de los años, y la temporada seca resultante es quizás responsable por el aumento en la incidencia de incendios forestales.

4 Recursos hídricos

Naulas (estructuras de piedra para el almacenamiento de agua, que atrapan el agua subterránea por acción capilar) y manantiales se utilizaban tradicionalmente para satisfacer las necesidades hídricas domésticas. Existe amplia evidencia sobre la disminución de la disponibilidad de agua para el consumo doméstico y sistemas de riego de tierras altas no funcionales, basados en frágiles recursos primarios de agua. Esto ha dado por resultado una producción de cosechas reducida y ha creado un círculo vicioso de empobrecimiento, junto con un aumento de enfermedades de origen hídrico.

En tiempos recientes, los casos de conflictos por el agua son un elemento habitual en la cuenca del río. La situación se agrava con la llegada de los meses secos del verano, cuando la demanda de agua está en su apogeo debido al aumento del tráfico de turistas, la temporada de bodas y las necesidades agrícolas.

La administración de la ganadería también ha sufrido y ha dado lugar a un pastoreo indiscriminado de las laderas de los cerros por el ganado y las cabras en busca de forraje. Esto a su vez ha llevado a la devastación ecológica de vastas extensiones de laderas de los cerros adyacentes a las tierras de las aldeas. Finalmente, ha habido un aumento de la escorrentía y de la erosión del suelo durante la temporada de monzones, y una reducción de la recarga de las aguas subterráneas.

Una evaluación de setenta pueblos en ambos márgenes del río revela la difícil situación de los recursos hídricos primarios. Sólo alrededor del 56% de los naulas son funcionales, el resto se han secado debido a que el estado ecológico de las frágiles áreas de captación no es conducente a permitir la infiltración del agua pluvial para recargar los recursos hídricos. Además, sólo el 23% de las fuentes funcionales de agua proporcionan agua todo el año, lo que se suma a la monotonía de las mujeres y los niños que ahora tienen que recorrer grandes distancias para satisfacer sus necesidades diarias de agua.

5 Temas de Subsistencia

Datos recolectados de 18 aldeas representan la situación en la cuenca del río: las tierras de regadío agrícola se han reducido de 9 a menos de 1 por ciento, y la producción de alimentos ha bajado de 94 kg a 15 kg por unidad de tierra. La escasez de alimentos y forraje de calidad, junto con las dificultades que enfrentan las mujeres al ir a buscar agua para el ganado doméstico, ha repercutido en la cría de ganado –reduciendo en una década el promedio de cabezas de ganado, de seis a sólo tres por familia. El ganado de tiro es criado ahora en muy pocos hogares, con el resultado de que ya varios agricultores no son capaces de arar sus campos. La leche y los productos relacionados con la leche ya no forman parte integral de los hábitos alimentarios. Esta reducción en el número de cabezas de ganado ha llevado también a cantidades insuficientes de estiércol en el corral.

Esta degradación ecológica de las áreas forestales ha dado lugar al uso de agujas de pino como material de compostaje, que a su vez ha introducido varias plagas y también ha cambiado en forma adversa el régimen de humedad de las tierras de cultivo. Informes de análisis de suelo revelan que el suelo es mayormente ácido, lo que es poco propicio para el desarrollo de microbios beneficiosos en el suelo. Sólo el 30% del suelo muestreado revela la presencia adecuada de carbono. Como el carbono es la espina dorsal para la actividad microbiana, la disponibilidad de nitrógeno y fósforo natural también ha sido afectada, lo que resulta en cultivos que sucumben a las enfermedades.

Este escenario de menor seguridad alimentaria, ha dado lugar a una importante emigración, a fin de complementar los ingresos familiares. Esto a su vez está dando lugar a graves tensiones en las sociedades locales, donde todas las responsabilidades significativas quedan a cargo de las mujeres. Los datos de estas 18 aldeas en dos cuencas de drenaje (gadheras) tal vez podrían explicar la dislocación inducida por factores climáticos dentro de las comunidades:

- 70 de 800 hogares han migrado definitivamente de la cuenca del río - 10 por ciento
- 20 por ciento de los varones adultos han emigrado temporalmente a fábricas donde son explotados

La migración también se dice que tiene un impacto negativo en la salud psicosocial de las comunidades. Los miembros de mayor edad de esta cuenca se enfrentan a dificultades importantes, sin ayuda en las tareas domésticas o en momentos de enfermedad, lo que lleva a una grave depresión mental.

6 Acción a Nivel de Base

Basándose en la vulnerabilidad de los residentes de la cuenca hidrográfica del Gagas, Grassroots ha participado con los habitantes de esta cuenca para trabajar hacia el restablecimiento de la seguridad ecológica. Las comunidades marginadas han sido galvanizadas para formar las estructuras institucionales apropiadas a nivel de base –los grupos de autoayuda de mujeres en las aldeas han llevado a la creación de una federación dinámica a nivel de cuenca, que a su vez ha sido capaz de iniciar un diálogo eficaz para el intercambio de experiencias con respecto a la restauración ecológica de la siguiente manera:

- Proporcionando una cobertura vegetal fresca en las áreas comunes degradadas y en la renovación de los métodos tradicionales para la conservación del suelo y la humedad
- Una difusión rápida de tecnologías apropiadas en sectores trasversales, en temas como el agua potable, saneamiento ambiental, energía renovable y recolección de aguas pluviales
- Mejoras en la seguridad alimentaria y medios de vida mediante la optimización del uso del suelo y el establecimiento de vínculos comerciales directamente entre el productor-agricultor y el consumidor

Un diálogo intra e inter-cuenca se está desarrollando fuertemente como una nueva característica mediante reuniones periódicas, talleres de capacitación, visitas cruzadas y auditoría social de temas físicos y financieros. La aparición del cambio, desarrollo y liderazgo a nivel de cuenca, poco a poco conduce a cambios que afectan las políticas, a saber, la renovación de la hidrología dentro de los límites de las áreas de reserva forestal que definen las masas de tierra más grandes y más importantes en la cuenca del río.

El lecho básico del cambio y desarrollo en la cuenca es la intensa organización comunitaria, dando como resultado una estructura institucional de tres niveles en su base, que consiste de grupos de autoayuda, el gadhera bachao samiti (comité comunal de desarrollo) y el órgano superior, llamado Gadhera Bachao Manch (federación de la cuenca de drenaje).

Esta estructura a nivel de base ha permitido y empoderado a las instituciones locales administradas por la comunidad delinear planes de acción en relación con el establecimiento de viveros, plantación de árboles, energía renovable, agricultura orgánica, procesamiento y comercialización de alimentos –medidas que les ayuden a adaptarse a los nuevos tiempos.

En los últimos cinco años, esfuerzos dirigidos por la comunidad han dado los siguientes resultados:

- 480 agricultores promoviendo sistemas de agricultura orgánica. Vínculos comerciales se han establecido para promover el cultivo tradicional pluvial y algunos cultivos de valor agregado, para la mejora de los ingresos agrícolas.
- Experimentos y programas de formación que le permiten a los agricultores mejorar la calidad del estiércoles (lumbricultura) y reducir el consumo de agua para fines agrícolas, especialmente para el cultivo del arroz.
- La horticultura está siendo adoptada en la cuenca para mejorar los ingresos familiares.
- 262 familias han adoptado el biogás como una opción de tecnología apropiada para satisfacer sus necesidades de energía doméstica, resultando en un impacto positivo en la salud de las mujeres por el suministro de energía limpia y sin humo, y ahorrando tiempo y reduciendo la monotonía.
- 150 aldeas han adoptado pozos de infiltración como fuente para satisfacer sus necesidades de agua potable, lo que resulta en una mejoría de la calidad de vida de 20.800 personas, equivalente a más del 20% de la población a lo largo de la cuenca, además de que 1.640 letrinas individuales se han construido para mejorar las condiciones sanitarias.

- 250 familias han adoptado también la recolección de agua pluvial como un medio para aumentar la disponibilidad de agua para su consumo doméstico.
- 500 mil plantones de especies nativas de árboles de hoja ancha se han plantado.
- Zanjas de contorno y pozos de percolación se están excavando para interceptar la escorrentía superficial y para ayudar a la percolación.
- Las comunidades están participando para finalizar los planes anuales de acción, centrados en la restauración ecológica, ofreciendo su tiempo para implementar los temas de acción propuestos y hacer que la conservación sea parte de su vida cotidiana.
- La celebración del Día Internacional de la Mujer, seguido por el Día Mundial del Agua, le permite a los residentes en la cuenca reunirse y compartir lecciones aprendidas.
- Reconocer el papel de los líderes locales ha llevado a un crecimiento significativo del capital humano en la cuenca.

7 Temas Políticos

El Gobierno de la India ha dado a la Región India del Himalaya la debida importancia como una de las Misiones fundamentales en su Plan de Acción Nacional para el Cambio Climático (NAPCC, por sus siglas en inglés). De hecho, el Gobierno de la India (GDI) desea claramente promover la gestión de base comunitaria de los ecosistemas a través de incentivos a las organizaciones de base comunitaria para la protección de las tierras comunales, tierras forestales y recursos hídricos. El objetivo es mantener dos tercios de la RIH bajo cubierta forestal, con el fin de evitar la erosión, la degradación de la tierra y garantizar la estabilidad del frágil ecosistema.

Las Mejores Prácticas centradas en la gobernabilidad para mantener los ecosistemas del Himalaya como un marco más amplio de estrategias de adaptación destaca la importancia de lograr la seguridad hídrica a través del rejuvenecimiento de las fuentes y cuencas de captación. Esto ha sido mencionado en este documento como un paso importante que debe tomarse en colaboración con las diversas partes interesadas. Esta característica es de suma importancia, conforme empeoran las condiciones hidrológicas en la mayoría de las cuencas fluviales, las cuales están alcanzando niveles alarmantes –afectando la seguridad alimentaria, los medios de vida y la salud de las comunidades de la montaña (Gobernanza para Sostener los Ecosistemas del Himalaya).

Los cambios en la política energética de la RIH hacia fuentes renovables también daría lugar a mejoras significativas en la salud de los bosques y de las personas. Sesenta y cinco por ciento de los hogares en la RIH se dice que utilizan leña como fuente primaria de energía doméstica.

Teniendo en cuenta que el gobierno, en principio, ha proporcionado un medio ambiente permisible en términos de las directivas de la política y asignaciones financieras, sería prudente mencionar que organizaciones como Grassroots han estado jugando un papel clave, encabezando un camino a seguir para que las comunidades de montaña puedan participar como la parte interesada principal en el proceso de cambio y desarrollo. La asistencia de UNESCO-HELP en cuanto a la documentación y la organización de los puentes de conocimiento para las diversas partes interesadas de la RIH podría ayudar a otras partes interesadas en la adopción de decisiones similares.

REFERENCIAS

Gobernanza para Sostener los Ecosistemas del Himalaya. *Directrices y Mejores Prácticas*; MOEF, Gobierno de la India.
Gobierno de la India. *Plan Nacional de Acción para el Cambio Climático*.

Uso de especies nativas para la reforestación de tierras en la Cuenca del Canal de Panamá

ARTURO CEREZO
División de Ambiente, Autoridad del Canal de Panamá, Panamá
acerezo@pancanal.com

Resumen A través de la División de Ambiente, del Departamento de Ambiente, Agua y Energía de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), se desarrolla un nuevo Programa de Sostenibilidad para la Cuenca del Canal de Panamá y sus habitantes. La estrategia clave es el Programa de Incentivos Económicos Ambientales, que busca proteger y conservar el recurso hídrico de la cuenca en harmonía con las actividades de sus habitantes. Este programa, programado a veinte años, espera reforestar 6.560 ha en los primeros cinco años, por medio de actividades de agroforestería, sistemas silvopastoriles y reforestación con especies comerciales. Otros esquemas de compensación serán incluidos como la reducción de emisiones por deforestación (REDD+). La reforestación de áreas continuas y el enriquecimiento de bosques se han desarrollado en parques nacionales, áreas protegidas y sus zonas de amortiguamiento. La meta es la de conservar los recursos suelo e hídricos a través de la reforestación y la conservación del bosque. Plantar especies nativas imita la diversidad que se encuentra en la naturaleza, facilitando el desarrollo de la biodiversidad, la recuperación gradual de áreas verdes intervenidas por el ser humano, la reducción de la erosión para mejorar la escorrentía, e impactando directamente sobre el control de hierbas invasoras, como la *Saccharum spontaneum*.

Palabras clave Canal de Panamá; especies nativas; reforestación; *Saccharum spontaneum*

1 Introducción

En 1987, la Comisión del Canal de Panamá (PCC, por sus siglas en inglés) inició un proyecto de reforestación en las Áreas de Operación del Canal, utilizando especies no nativas como la acacia (*Acacia mangium*) y la melina (*Gmelina arborea*), debido a la disponibilidad de semillas y sus características de rápido crecimiento. Desde 1998, la ahora Autoridad del Canal de Panamá (ACP) continuó el Proyecto de Reforestación con un enfoque hacia la restauración ecológica, utilizando solamente especies nativas (Jones *et al*., 2004; Montagnini *et al*., 2008). Desde 2001, la ACP logra una colaboración estratégica con el Proyecto de Reforestación con Especies Nativas (PRORENA), un proyecto de investigación científica dirigido por el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) y la Universidad de Yale, para recolectar datos sobre el comportamiento de las especies nativas utilizadas por los proyectos de la ACP (PRORENA), 2004; Jones *et al*., 2004).

Uno de los proyectos de reforestación desarrollados por la ACP desde 2006 es conocido como La Ciudad del Árbol, que consiste en un terreno de 200 ha administrado por la Universidad de Panamá (UP) (Autoridad del Canal de Panamá, 2007; Montagnini *et al*., 2008). Desde el 2006 al 2008, las 200 ha han sido plantadas con una mezcla de 90 especies nativas, para que se reprodujeran naturalmente. A través de éste proyecto, la Universidad de Panamá, la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) y la Autoridad del Canal de Panamá promueven la recuperación de esta área, la cual estuvo originalmente invadida por la hierba conocida como paja blanca, una maleza cuyo nombre científico es *Saccharum spontaneum*[1]. En el 2006 se estableció una parcela de monitoreo de 1000 m^2 para investigar y evaluar el crecimiento y desarrollo de la plantación. Este artículo presenta los resultados de dicha investigación.

1 Un pariente de la caña de azúcar, *Saccharum spontaneum* se caracteriza por sus abundantes y llamativas flores (Autoridad del Canal de Panamá, 2007; Montagnini et al., 2008). Esta especie puede crecer cinco o más metros de altura. La planta, que también es conocida como paja blanca, pajilla blanca, paja gringa, paja de Vietnam, caña silvestre, paja mula, caña de azúcar silvestre, fue importada a Panamá (Missouri Botanical Garden, 1948; Canal Zone Experiment Gardens, 1939) y se ha esparcido sobre grandes áreas, especialmente en sitios deforestados que están sujetos a constantes quemas, áreas agrícolas abandonadas o aquellas alteradas por los cortes o rellenos, con suelos pedregosos, ácidos y bajos en fertilidad. Ya que esta especie se seca en la estación seca, es propensa a grandes incendios que amenazan la vida de la gente, la fauna y la flora, resultando en grandes costos para el control, e inconformidad causadas por el hollín dispersado por el viento.

2 Objetivo

Promover la restauración y protección de la cobertura boscosa para la conservación hídrica, en armonía con las actividades en la Cuenca del Canal de Panamá, logrando la restauración ambiental en el proyecto Ciudad del Árbol, con el acervo genético de Panamá.

3 Metodología

Localización de los sitios

El Corte Culebra, loas parques nacionales Camino de Cruces y Soberanía, Agua Salud y la Ciudad del Árbol son las áreas donde la reforestación con especies nativas se estableció. La Ciudad del Árbol se localiza en la comunidad de Chilibre, cerca de la represa Madden, a 40 km de la Ciudad de Panamá. Es la zona de amortiguamiento del lago Alhajuela y el Parque Nacional Chagres (Autoridad del Canal de Panamá, 2007). Ella también tiene algunas laderas en pendientes, y la precipitación anual promedio está entre los 2000 y 2500 mm.

Establecimiento

Las lecciones aprendidas en proyectos de reforestación ejecutados por la Autoridad del Canal de Panamá fueron aplicadas en la Ciudad del Árbol. Estas experiencias se basaron sobre el principio de que las plantas son indicadores de las condiciones pedológicas y climáticas en donde crecen y se desarrollan. Estos bosques son altamente heterogéneos y dinámicos, cosa que fue la razón para reproducir su diversidad. Las especies pioneras como el periquito (*Muntingia calabura*), balsa (*Ochroma pyramidale*) y el cortezo (*Apeiba tibourbou*), que no tienen valor comercial, se seleccionaron de bosques secundarios y maduros; otros como el jobo (*Spondias mombin*) y la guava (*Inga* sp.), que son frutales silvestres, se utilizaron para producir interacción entre la flora y la fauna del área.

Para los trabajos de limpieza iniciales se aplico el concepto “limpieza selectiva”. Esto involucra la remoción de hierbas indeseables, mayormente la *Saccharum spontaneum* y la flemingia (*Flemingia strobilifera*), manteniendo a las especies de árboles que se establecieron naturalmente, especialmente árboles de madera dura que son colonizadores potenciales. También se manejó la maleza y la regeneración natural, lo que significa que las especies diseminadas por el viento, aves, murciélagos u otra vida silvestre terrestre pueden crecer libremente. Esta forma particular de manejo de una plantación dinamiza el crecimiento y desarrollo de las plantas, similarmente a la vegetación de un bosque natural. Se utilizaron fertilizantes orgánicos, químicos y microorganismos para fortalecer el sistema radical y mejorar la absorción de nutrientes. Las plántulas se combinaron en un área de 3x3 m para evitar concentraciones de una misma especie.

4 Resultados y discusión

Entre 2006 y 2008, en la Ciudad del Árbol se plantaron 200 hectáreas con una mezcla de especies nativas y se estableció una parcela de monitoreo de 1000 m^2 con 124 plantones de 24 especies. Desde el 2007 al 2008 murieron 14 plantas y dos especies. Para el 2008, el crecimiento promedio de algunas especies notable fue: balsa (*Ochroma pyramidale*), 11 m; nazareno (*Jacaranda* sp.), 7.5 m; negrito (*Annona spraguei*), 5.5 m; guácimo negrito (*Guazuma ulmifolia*), 5.32 m, y jobo (*Spondias mombin*), 5.0 m. La supervivencia de las plantas crecidas en el 2007 fue de un 93%, y en el 2008 fue de 89% (Tabla 1 y Fig. 1).

Tabla 1 Altura promedio (m) y diámetro basal (cm) de las especies nativas en el proyecto Ciudad del Árbol 2007-2008.

2007	2008	Especie	Nombre científico		2007 Altura (m)	Desv. Stan.	2008 Height (m)	Desv. Stan.	2007 Diametro base (cm)	2008 Diametro base (cm)	2007 DAP (cm)	2008 DAP (cm)
2	2	Algarrobo	*Hymenaea courbaril*	HYMECO	0,94	0,374766594	1,88	0,530330086	1,20	3,50		
6	5	Balo	*Gliricidia sepium*	GLIRSE	2,78	0,44907312	4,22	0,960858991	5,37	9,74	2,13	5,44
1	1	Balso	*Ochroma pyramidale*	OCHRPY	4,20		11,00		7,40	19,58	5,20	16,71
1	1	Cabimo	*Copaifera aromatica*	COPAAR	0,35		1,00		0,50	2,23		
1	1	Caimito	*Chrysophyllum cainito*	CHRYCA	0,33		1,00		0,50	2,55		
5	5	Ceibo	*Ceiba pentandra*	CEIBPE	2,06	0,279284801	3,17	0,297069016	5,86	13,87	1,48	6,03
6	6	Corotu	*Enterolobium cyclocarpum*	ENTECY	1,75	0,233580821	2,57	0,402492236	3,25	5,57	1,38	3,21
6	6	Cortezo	*Apeiba tibourbou*	APEITI	2,16	0,380823669	4,22	0,909212113	5,68	11,99	2,32	6,37
4	2	Cuipo	*Cavanillesia platanifolia*	CAVAPL	0,73	0,17670597	2,00	0	1,91	6,21		1,59
11	11	Espave	*Anacardium excelsum*	ANACEX	1,60	0,245442087	3,45	0,610640498	3,58	7,41	1,14	3,60
2	2	Guabo	*Inga sp.*	INGASP	1,17	0,325269119	2,75	1,060660172	1,75	7,62		3,10
19	19	G. Colorado	*Luehea seemannii*	LUEHSE	1,53	0,429500594	2,96	0,733502771	4,05	7,22	0,86	3,05
15	15	G. negrito	*Guazuma ulmifolia*	GUAZUL	2,26	0,535123484	5,31	1,065442005	3,96	9,53	1,99	5,32
5	5	Guayacán	*Tabebuia guayacan*	TABEGU	1,39	0,531526105	2,95	1,177921899	2,11	4,81	0,50	3,10
2	2	Jobo	*Spondias mombin*	SPONMO	2,15	0,487903679	5,00	0,353553391	5,65	11,06	3,05	7,08
5	5	Jordan	*Trema micrantha*	TREMMI	3,00	1,573238698	4,70	0,671751442	3,20	7,72	2,07	4,21
14	14	Laurel	*Cordia alliodora*	CORDAL	1,50	0,496677422	3,13	0,795833933	2,64	5,85	1,35	3,38
2	2	Marañon	*Anacardium occidentale*	ANACOC	1,57	0,275771645	2,75	0,707106781	2,70	5,57	1,30	3,18
1	0	M. Curazao	*Syzygium malaccense*	SYZYMA	0,47				0,30			
1	0	Membrillo	*Gustavia superba*	GUSTSU	0,20				0,20			
1	1	Nazareno	*Jacaranda sp.*	JACASP	3,00		7,50		0,30	1,27		
1	1	Negrito	*Annona spraguei*	ANNOSP	2,90		5,50		4,80	9,55	2,00	7,32
3	3	Palo santo	*Erythrina sp.*	ERYTSP	1,56	0,550121199	2,50	0,661437828	4,10	8,86	1,20	3,18
1	1	Roble	*Tabebuia rosea*	TABERO	1,16		2,50		2,70	5,41		2,55

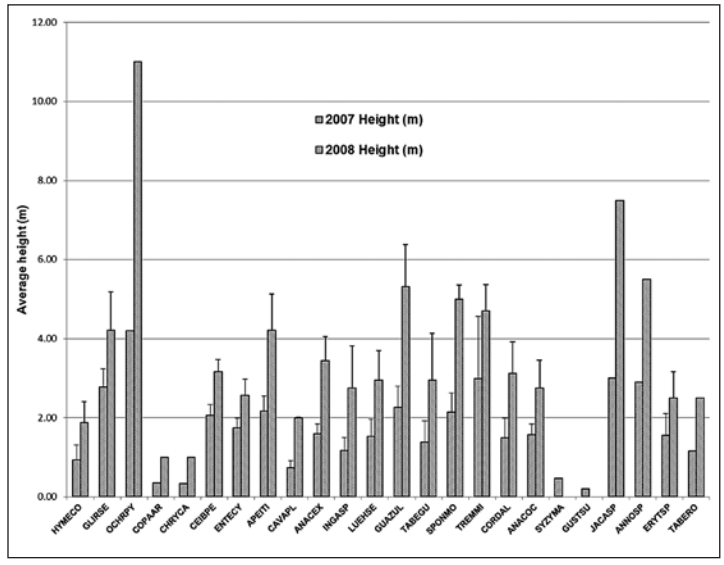


Fig. 1 Altura promedio (m) de las especies nativas en el proyecto Ciudad del Árbol 2007-2008.

En el 2007 se regeneraron 91 plantas, correspondientes a trece especies, nueve de ellas nuevas en la parcela. En la regeneración se destaca mayormente en el guácimo colorado (*Luehea seemanii*) con 35% y el jordán (*Trema micranta*) con 25%. El crecimiento promedio de las especies pioneras se destaca con el balso (*Ochroma pyramidale*) y guarumo (*Cecropia sp.)* con 7.0 m.; poro poro (*Clochlospermunm vitifolium*), 5 m.; jordán (*Trema micranta*), 4.59 m; periquito (*Muntingia calabura*), 4.58 m., y guácimo negrito (*Guazuma ulmifolia*), 4.25 m. El carreto (*Erithroxylum citrifolium*), una especie utilizada por los agricultores, mostró una altura de 3.0 m. La sobrevivencia de las plantas regeneradas entre el 2007 y el 2008 fue de 95%, indicando una excelente adaptación por parte de las plantas dispersas a través del área (Fig. 2).

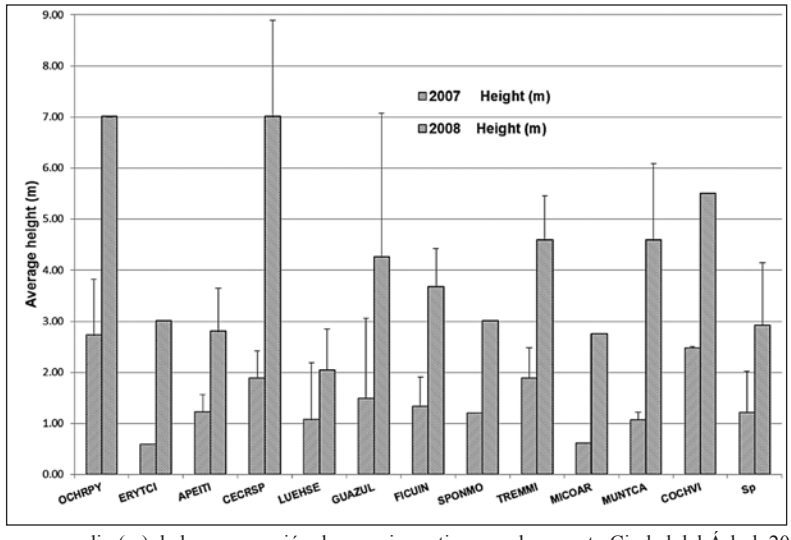


Fig. 2 Altura promedio (m) de la regeneración de especies nativas en el proyecto Ciudad del Árbol, 2007-2008.

En el 2008 se regeneraron 148 plantas, comprendiendo 16 especies, de las cuales dos se registran como nuevas especies en la parcela. Se destaca la regeneración en el balo (*Gliricidia sepium*), con 59%, guarumo (*Cecropia sp.*), con 13% y el guácimo colorado *(Luehea seemanii*), con 8%. El análisis de supervivencia de las especies sembradas en el 2006 y las especies regeneradas en el 2007, indicó la existencia de 206 plantas en el lugar de medición. Para el 2008, el conteo total indicó la existencia de 344 plantas (Tabla 2).

El crecimiento mostrado por las especies nativas, a pesar de encontrar condiciones difíciles para el establecimiento de una plantación forestal, contrasta con el concepto de que las especies nativas son de lento crecimiento. *Hura crepitans* es la especie que ha presentado una floración más temprana. Se le pudo observar florecer al comienzo de los tres meses de haberse establecido. La floración temprana de otras especies forestales en la parcela, como el tronador (*Hura crepitans*), periquito (*Muntingia calabura*), balo (*Gliricidia sepium*), guava (*Inga sp.*), guácimo negrito (*Guazuma ulmifolia*) y el cortezo (*Apeiba tibourbou*) y otras del sotobosque, permiten la interacción de la flora y fauna como un paso importante en el proceso de recuperación de áreas deforestadas.

La energía de la lluvia entra en contacto con el dosel y esto reduce la fuerza erosiva de la escorrentía, que es uno de los mayores objetivos del proyecto de reforestación. Esta tendencia, en conjunto con el manejo de la maleza y la regeneración de las semillas dispersadas por los muchos agentes naturales como el viento, animales terrestres y aves, promueven gradualmente la recuperación de la cobertura vegetal en áreas intervenidas, lo que resulta en una disminución en los procesos erosivos y permite la conservación de los recursos hídricos con un impacto ambiental positivo, lo cual es un objetivo importante del proyecto.

Tabla 2 Altura promedio (m) y diámetro basal (cm) de especies nativas en el proyecto Ciudad del Árbol 2007-2008.

Especies plantadas 2006			Regeneración 2007		Regeneración 2008	Observación
2006	2007	2008	2007	2008	2008	
124						No. Individuos plantados 2006
			91		148	No. Regeneradas
	115	110		86		No. Sobrevivientes
	9	5		5		No. Muertes
	93	89		95		% Supervivencia
			73	69	119	% Regeneración
			206	196	344	Plantado + regeneración
			166	158	277	% Plantado + regeneración
24	24	22	13	13	16	No. especies
		2				No. Especies muertas
			7		2	No. Especie nueva
			31		31	No. Total especie
	62	100	31	71		DAP

5 Conclusiones

La siembra de especies heterogéneas, el manejo de la cobertura del suelo y el permitir la regeneración natural, progresivamente promueven el desarrollo de nueva vegetación y el aumento de la biodiversidad en sitios invadidos por *Saccharum spontaneum*. Las dos especies que presentaron el mayor crecimiento en dos años fueron: balsa (*Ochroma pyramidale*) y el nazareno (*Jacaranda* sp.). Otros como el negrito (*Annona spraguei*), guácimo negrito (*Guazuma ulmifolia*), jobo (*Spondias mombin*), jordán (*Trema micrantha*), balo (*Gliricidia sepium*) y cortezo (*Apeiba tibourbou*), mostraron un crecimiento intermedio.

Nuestra recomendación para los administradores de tierras, diseñadores de políticas, organizaciones no gubernamentales y personas interesadas es que consideren a estas especies en sus programas de reforestación, debido a que ellas han mostrado rápido crecimiento. Además, la técnica de limpieza selectiva utilizada en el mantenimiento de las plantaciones, en conjunto con el manejo de la cobertura de suelo y la regeneración natural, permite que especies dispersas como el balso (*Ochroma pyramidale*), guarumo (*Cecropia* sp.), poro poro (*Clochlospermunm vitifolium*), jordán (*Trema micranta*), periquito (*Muntingia calabura*) y el guácimo negrito (*Guazuma ulmifolia*) crezcan libremente en forma natural, mostrando un crecimiento y desarrollo dinámico, muy parecido a la vegetación del bosque natural.

REFERENCIAS

Autoridad del Canal De Panamá. (2007) *Ciudad del Árbol. Proyecto para la recuperación ambiental para la reserva genética de especies nativas de Panamá*. Universidad de Panamá y Autoridad del Canal de Panamá.

Canal Zone Experiment Gardens. (1939) *Annual Report*. The Panama Canal, Press. Mount Hope, C. Z., July 20, 1939.

Jones, E. R.; Wishnie, M. H.; Deago, J.; Sautu, A.; Cerezo, A. (2004) Facilitating regeneration in *Saccharum sponteneum* (L.) grassland within the Panama Canal Watershed: effects of tree species and tree structure on vegetation recruitment patterns. *Forest Ecology and Management* 191 (2004) 171–183.

Missouri Botanical Garden. (1948) *Missouri Botanical Garden Bulletin*. Volume XXXVI.

Montagnini, F.; Cerezo, A.; Lant Bent, H. S.; Kim, T. J.; Finney, Ch. (2008 Reforestation for control of invasive grass and watershed protection in the Panama Canal. *Revista Forestal YVYRARETA 15* (2008) 33-38.

PRORENA. (2004) *Investigaciones sobre reforestación con especies de árboles nativos en las Zonas de Operación del Canal de Panamá: 2001-2004*. Un trabajo colaborativo entre la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) y el Proyecto de Reforestación con Especies Nativas (PRORENA). Informe final del contrato: ACP-STRI # SAA-82784. 20 p.

Requisitos previos de las instituciones de gestión del agua para el escenario del contraste entre la disponibilidad de agua y nivel de pobreza: un estudio de caso de la Cuenca del Río Ganges, India

BISHAKHA GHOSH Y E.B. UDAY BHASKAR REDDY
Centre for Economic and Social Estudies.
Hyderabad, Andhra Pradesh. India.

1 Introducción

El agua como recurso natural juega un papel importante en el bienestar humano y el bienestar humano existe en un continuo de la pobreza[1]. La falta de disponibilidad de agua potable es -en sí misma- un indicador de pobreza, pero el papel del agua en el bienestar humano se vuelve complejo cuando la disponibilidad de agua influye y es influenciada por el cultivo de alimentos, el procesamiento agroindustrial, la pesca, la salud y el acceso al uso del agua (CGIAR, 2006). India se caracteriza por la falta de uniformidad en la pobreza junto con el nivel de conciencia, el desarrollo socio-económico, la educación, la prácticas y rituales que se suman a la complejidad de la provisión de agua (Khurana y Sen, 2008). Para ser más precisos, se sabe que el país está sufriendo de las disparidades regionales en la incidencia de la pobreza en términos de gastos per cápita, producto interno estatal y salarios agrícolas. La disparidad existe dentro de los estados, entre estados, y especialmente en las zonas urbanas y rurales (Deaton y Dreze, 2002).

2 Agua y pobreza

El agua soporta los medios de vida de las personas a través de la agricultura y las actividades industriales que consumen agua, a través del consumo doméstico y el saneamiento, y a través de los servicios ecosistémicos. La falta de un suministro adecuado de agua dificulta la salud, y de nuevo, incluso con el suministro adecuado de agua, los pobres no pueden tener acceso a ella debido a sus bajos ingresos. (Lawrence et al 2002). En resumen, el agua es un elemento clave de la vida humana y un elemento importante en la explicación de la pobreza. En vista de que los ríos son una fuente principal de agua, la gente extrae agua de las cuencas para satisfacer sus distintas necesidades, incluyendo las agrícolas, industriales, domésticas y otras. A menudo se asume que la disponibilidad de agua del río en una zona geográfica puede aportar beneficios en la vida humana que conduce al bienestar, así como en la reducción de la pobreza (Lawrence et al 2002, el CGIAR, 2006, MEA, 2005). Sin embargo, una mirada más atenta en los datos sobre la pobreza y la disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas en la India presenta un cuadro diferente. Por ejemplo, gran parte de la pobreza rural se concentra en unos pocos estados que se encuentran en la cuenca del río Ganges (Sharma et al, 2008), aunque el río Ganges tiene el mayor potencial de agua (en términos de caudal medio anual de agua superficial, CWC, 2005).

1 El bienestar humano incluye las cosas materiales necesarias para una buena vida, libertad y oportunidad, salud, buenas relaciones sociales y seguridad personal. En el continuo de la pobreza, el bienestar humano existe justificado por la falta pronunciada del bienestar" (MEA, 2005).

3 El área de estudio

El área de estudio se limita a la cuenca del Ganges. El Ganges, que es la cuenca más grande de la Ganga Brahmaputra Meghna (GBM), ocupa el lugar número 41 entre los ríos más largos del mundo y el lugar número 20 entre los ríos más largos de Asia (Sharma et al, 2008). De acuerdo con el Informe 2005 de la Comisión Central de Agua, esta cuenca tiene la mayor cantidad de agua superficial utilizable estimada entre las cuencas de los ríos del país. Alrededor del 40 por ciento de la población de la India vive en la cuenca del Ganges, pero la cuenca se ha mantenido como el hogar de la mayor cantidad de personas que viven en la pobreza. (Upali *et al*, 2005). Gran parte de la pobreza rural se concentra en unos pocos estados de la India que se encuentran en la cuenca del Ganges (Sharma et al, 2008). Este tipo de situación requiere un análisis más detallado de los datos con el fin de entender la relación entre la disponibilidad de agua y la pobreza que parece no ser simple. Podría haber otros factores determinantes también, entre los cuales el acceso a los recursos hídricos es muy importante. El Ganges cubre los estados de Uttar Pradesh, Madhya Pradesh, Bihar y West Bengal con clima monzónico; y en el este de los estados Haryana y Rajasthan con clima árido. Madhya Pradesh, Bihar y West Bengal son los estados con alta incidencia de pobreza (Narayanmurthy, 2007). Es importante señalar que hay varios distritos adyacentes de la cuenca con mayores diferencias en el recuento de la pobreza rural por habitante. La mayoría de esos distritos son de diferentes estados. La tabla siguiente muestra el detalle de los distritos adyacentes dentro de un estado con alta brecha de pobreza en la cuenca del Ganges.

Tabla 1 Detalles de los distritos adyacentes dentro de un estado con alta brecha de pobreza en la cuenca del Ganges.

Estado	Distritos Adyacentes	Pobreza Rural en el Distrito (en %)	Diferencia entre los Pobres Rurales de los Distritos Adyacentes (en %)
Utter Pradesh	Siddharthnagar	66,3	-
	Shrawasti	56,1	10,2
	Balarampur	18,6	37,5
Utter Pradesh	Mathura	41,0	-
	Aligarh	19,8	21,2
West Bengal	Murshidabad	55,9	
	Nadia	18,3	37,6

Fuente: El porcentaje de los pobres rurales por distrito fue tomado de la 61 Encuesta Global de NSSO, 2004-2005 (Chowdhury y Gupta, 2009).

En el caso de West Bengal, la diferencia en el nivel de pobreza rural es más alta en dos distritos adyacentes. El Estado de West Bengal se ubica en la parte oriental de la India y tiene dos partes. La parte norte es la región del Himalaya están los distritos de Darjeeling, Jalpaiguri, Kochbihar. En esta parte, el nivel de pobreza es de 10 a 30 por ciento. La otra parte es el delta del Ganges, formado por el este de la llanura de Bhagirathi, el oeste de la planicie de Bhagirathi, las llanuras de Mayurkhshi y Rupnarayan, Damodar, Kangshabati, Kanthi y la llanura de Medinipur. El delta del Ganges es bañado por el río Ganges y sus afluentes. El nivel de la pobreza rural varía de un 10 por ciento a más del 55 por ciento en esta parte. A nivel de distrito, el más alto nivel de la pobreza rural existente en esta parte del distrito de Murshidabad (55,9 por ciento) y la menor pobreza rural existente en el Distrito de Nadia (18,3 por ciento). En la Tabla 2 se muestra características importantes de estos dos distritos.

En términos de área geográfica y población, el distrito Murshidabad es más grande que el de Nadia. Sin embargo, el porcentaje de área rural es casi el mismo para ambos distritos. También los distritos tienen el mismo tipo de suelo, temperatura y medios de subsistencia. Las precipitaciones son más Murshidabad en comparación con Nadia. En ambos distritos la tenencia de la tierra y el patrón de propiedad es el mismo.

En este contexto, el presente estudio intenta entender la relación entre el agua y la pobreza en el contexto de la India a partir de datos de fuentes secundarias y primarias.

Tabla 2 Características geográficas, demográficas y sociales de los Distritos de Nadia y Murshidabad.

Distrito		Nadia	Murshidabad
Total de área geográfica		3927 kilómetros cuadrados	5324 kilómetros cuadrados
Área rural		97.58%	94.65%
Cantidad de población en 2006		5035674	6526499
Precipitaciones en julio		272.1 mm	303.1mm
A partir del año 2000-2006, la precipitación media anual		1039.71mm	1495.85mm
Los medios de subsistencia		Agricultura	Agricultura
* Densidad de población (2001)		Total-1173, Rural-975, Urbana-4661	Total-1102, Rural-988, Urbana-5685
Tenencia de la tierra		Porcentaje de superficie cultivada: 79.06 y las tierras no cultivadas: 20.63	Porcentaje de superficie cultivada: 79.82 y las tierras no cultivadas: 20.03
Tenencia de la tierra	Número de tenencias operacionales	594925	418238
	Área de tenencias operacionales (en hectáreas)	438912	350589
	Tamaño medio de de tenencias operacionales (en hectáreas)	0.74	0.84
Río local		Jalangi	Bhagirathi
** Disponibilidad de agua en el río		Superficie - 3.707 Fondo- 1.35	Superficie - 13.643 Fondo- 3.37

Fuente: www.wbagrimarketingboard.gov.in, consultado el 22 de abril 2010

* Fuente: www.indiastat.com .** Sech Patra, de 1994, del Departamento de Riego y Vías Navegables, Gobierno de West Bengal.

4 Objetivos

a) Estudiar el acceso al agua para uso doméstico en los hogares que pertenecen a diferentes niveles de la pobreza.
b) Para estimar el costo de oportunidad de la recolección de agua doméstica en los hogares.
c) Para analizar las cuestiones relacionadas con el acceso restringido al agua para uso doméstico.
d) Para conocer las implicaciones de política pertinentes para reducir el nivel de la pobreza rural.

5 Metodología y datos

Para recoger datos primarios de los hogares, en primer lugar se seleccionó un pueblo de cada distrito. El procedimiento adoptado para la selección de las aldeas y hogares son los siguientes.

- *Selección de los pueblos:* Se seleccionó un pueblo de cada uno de los distritos. Para esto, primero visitó departamento de las diferentes administraciones y oficinas, tales como el Departamento de Riego y Vías Navegables, Departamento de Investigación del Agua y el Desarrollo, la oficina del Círculo, el Gobierno de West Bengal y Jalangi Bhavan Nadia, para obtener información secundaria sobre el flujo de las aguas superficiales del río Jalangi. Se recopiló información para seleccionar el área en el distrito de Nadia donde el flujo del agua superficial del río es bajo. Asimismo se seleccionó el pueblo Bahadurpur del bloque II de Dhubulia para la recolección de datos primarios (las fuentes gubernamentales antes mencionadas informaron que en promedio, el río Jalangi tiene un flujo superficial de agua con una altura de 8 metros, pero en el área seleccionada la altura es de 6 metros).

  Del mismo modo que en el caso de las oficinas mencionadas en Murshidabad y Comisión Central del Agua, la División del Bajo Ganges Murshidabad fue visitada para obtener información secundaria sobre el flujo de las aguas superficiales del río Bhagirathi. Se colectó información para seleccionar el área en el distrito de Murshidabad donde el flujo del agua superficial del río es alto. Según las fuentes anteriores el río Bhagirathi ha sido controlado por la presa Farakka, el flujo de agua es más o menos igual durante todo su curso. El pueblo de Pirtala en el distrito de Jiyagunj ha sido seleccionado en vista de que el ancho del río en esta zona es relativamente alta.
- *Selección de los hogares de la muestra:* En primer lugar, un estudio piloto se llevó a cabo en los pueblos para recopilar información a nivel de hogares sobre la tenencia de la tierra. Se encontró que el número de hogares en la aldea de Bahadurpur es 1211 y en el pueblo de Pirtala es de 365. Entre ellos, 250 hogares en la aldea de Bahadurpur se dedican de forma primaria o secundaria a la agricultura, mientras en el pueblo de Pirtala es 189. Se decidió recoger datos primarios de un 15 por ciento de los hogares, es decir, 38 de Bahadurpur y 28 de Pirtala que se dedican a la agricultura en cada pueblo respectivamente. De acuerdo con el tamaño de terrenos agrícolas con propietario, los hogares en cada pueblo se han dividido en tres grupos (de hasta 1 acre, 1 a 2 acres, más de 2 acres).

Se utilizó un cuestionario estructurado para recopilar datos. El cuestionario fue elaborado sobre la base de las ideas recibidas de los grupos de discusión realizados entre los informantes clave en las aldeas. El cuestionario fue finalizado después de las pruebas de campo. Aparte de las características socio-económicas y demográficas de los hogares, se incluyeron preguntas relacionadas con el agua para uso doméstico y la perspectiva sobre el acceso limitado al agua. La pobreza se ha considerado sobre la base de las tierras agrícolas en manos de los hogares. Un hogar con menor cantidad de tierra agrícola propia ha sido considerado más pobre. Se utilizaron estadística descriptiva y tabulaciones cruzadas para analizar los datos. El acceso a agua para uso doméstico se ha estimado usando el Sub Índice de Acceso del Índice de Pobreza de Agua para cada grupo de hogares.

6 Resultados y Discusión

- *El acceso al agua para uso doméstico en los hogares que pertenecen a diferentes niveles de la pobreza:* Los hogares tienen más acceso al agua en el pueblo de Bahadurpur, distrito de Nadia, en comparación con el pueblo de Pirtala, distrito de Murshidabad. Es evidente por los resultados que el acceso al agua aumenta con el aumento de la tenencia de la tierra en tamaños

de propiedades de hasta 2 acres y posteriormente disminuye constantemente en el pueblo de Bahadurpur; pero en el pueblo de Pirtala, la relación entre el tamaño de la propiedad y el acceso al agua es directamente proporcional.

- *Costo de oportunidad de la recolección de agua doméstica en el hogar:* Los hogares que poseen una cantidad más grande de tierras agrícolas tienen la fuente de agua para uso doméstico dentro de su complejo residencial en forma de pozos o pozos perforados. En tanto en los pueblos, el tiempo promedio para la recolección de agua doméstica es más para las familias con menos tierra agrícola pues la fuente se encuentra muy lejos. El tamaño en la tenencia de la tierra de estos pueblos se agrupa en tres categorías - 1 categoría (tenencia de la tierra hasta 1 acre); categoría 2 (tenencia de la tierra de más de 1 hasta 2 acres); y categoría 3 (más de 2 acres). En el grupo, el tiempo promedio para la recolección de agua para uso doméstico es mayor en el pueblo de Pirtala pueblo que en el pueblo de Bahadurpur. El costo de oportunidad de la recolección de agua doméstica para las personas con menos cantidad de tierra agrícola es alto en comparación con las personas con gran cantidad de tierras agrícolas debido a que ellos no dispusieron del tiempo para participar en actividades generadoras de ingresos como la gestión de aves de corral, la fabricación de puros del país (llamada en inglés "bidi binding") o el manejo de forrajes.
- *En los dos pueblos a través de los diferentes grupos el agua de uso doméstico es recolectada principalmente por las mujeres de los hogares:* Enfermedades relacionadas con el agua, así como riesgos sociales como un bajo nivel del agua, el acoso sexual, peleas diarias con vecinos, son enfrentados al momento de la recolección de agua principalmente por los grupos con menor propiedad de la tierra agrícola en Pirtala, pueblo y ha sido reportado como cero en Bahadurpur pueblo.

Tabla 3 Consumo de agua en las aldeas de estudio.

Atributos	Tamaño de la explotación de tierras agrícolas (en acres)											
	Bahadurpur				Pirtala				Bahadurpur y Pirtala			
	~ 1	> 1-2	>2	Total	~ 1	> 1-2	>2	Total	~ 1	> 1-2	>2	Total
Consumo de agua (en litros)	40,88	46,74	45,5	42	31,2	36	53,6	35	37,4	40,48	50,37	39,4

Fuente: Encuesta Primaria.

7 Un resumen

El pueblo de Pirtala se enfrenta a un menor acceso a agua para uso doméstico a pesar de que posee un excedente de agua en el río de la localidad. De acuerdo con la encuesta primaria la razón básica para que exista menos acceso al agua en el pueblo de Pirtala con respecto al pueblo de Bahadurpur es el uso extensivo de las aguas subterráneas para el riego.

8 Implicaciones de política

Hay una necesidad de utilizar más agua superficial en el pueblo de Pirtala, distrito de Murshidabad. Para uso doméstico del agua se necesita la intervención del Gobierno. El jefe de la aldea Panchayat de Pirtala opinó en el grupo de discusión que han solicitado a las autoridades aprobar un tanque de agua, que podría satisfacer la demanda de agua. Se necesita la intervención del sector gubernamental así como del no-gubernamental para reducir al mínimo las desigualdades de género en las

responsabilidades de recolección de agua de uso doméstico y dar a las mujeres más posibilidades de involucrarse en actividades generadoras de ingresos.

REFERENCIAS

Chaudhury S and Gupta N (2009). Levels of Living and Poverty Patterns: A District – Wise Analysis for India. *Economic and Political Weekly,* 44(9):94-110.

Cook S. and Gichuki F (2006). Agricultural Water Productivity Issues, Concepts and Approaches. CGIAR Basin FocalProject Working Paper No 1.

Cook S. and Gichuki F (2006). Mapping Water Poverty: Water, Agriculture and Poverty Linkages. CGIAR Basin Focal Project Working Paper No. 3.

Deaton A. and Dreze J (2002). Poverty and Inequality in India A Re-Examination. *Economic and Political Weekly*, 43(6):43–49.

Khurana I and Sen R (2008). Drinking water quality in Rural India: Issues and Approaches. Water Aid Background Paper.

Lawrence P., Meigh J., Sullivan C (2003). The Water Poverty Index: An International Comparison', Keele Economics Research Papers.

Millennium Ecosystem assessment report 2005.

Sharma R .B., Upali A.A., Sikka A (2008). Indo- Gangetic River Basin : Summary Situation Analysis. IWMI Publication.

Upali A., Bharat R.S., Noel A., Scott C; Valdamir S, Fraiture C.D (2005). Spatial Variation in water supply and demand across River basins of India', IWMI Research Report 83.

Vinculación entre el sustento de los agricultores, los árboles y el proceso de agua y suelos en las buenas prácticas de gestión de áreas de captación

LAURA BENEGAS NEGRI[1, 3], VICTOR MEZA PICADO[2, 4], ANDERS MALMER[3] Y BENNO POKORNY[4]

1 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica
lbenegas@catie.ac.cr
2 Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica
3 Departamento de Ecología y Manejo Forestal, Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas, Sweden
4 Instituto de Silvicultura, Universidad de Freiburg, Germany

Resumen Típicamente se considera que la presencia de árboles en los sistemas de terrenos agroforestales o silvopastoriles es una buena práctica para la gestión de áreas de captación. Pero los datos empíricos sobre las relaciones de los árboles, del suelo y del agua, así como los datos relacionados con las prácticas locales de gestión compatibles con la presencia de árboles en el terreno, han sido escasos en las regiones tropicales. Con el fin de aclarar esta función de los árboles, nos hemos centrado en la relación entre los árboles y la infiltrabilidad como uno de los principales procesos de recarga de aguas subterráneas en los sistemas de terrenos agroforestales y de pastoreo en las zonas tropicales de América Central. Analizamos dos casos prácticos: una plantación de café bajo un sistema agroforestal en Aquiares, Turrialba, Costa Rica, y los terrenos de pastoreo (fincas ganaderas) en Copán, Honduras. En Aquiares no hubo diferencias en infiltrabilidad entre las condiciones de árboles y la ausencia de árboles (media de árboles = 898 mm/ha, y media de ausencia de árboles = 1,124 mm/ha; p = 0,105), lo que sugiere que una plantación de café sin árboles –aparte del café– es mejor que una con árboles en términos de recarga de aguas subterráneas. En Copán, los árboles incrementaron la infiltrabilidad (mediana de la prueba de Mood, p = 0,009; mediana de grupo de árboles = 146 mm/ha; mediana de terreno de pastoreo abierto = 47 mm/ha). Debido a que el caso práctico No. 1 incluyó sólo una granja y los árboles no eran significativos para la infiltrabilidad, sólo se eligió el caso práctico No. 2 para explorar qué aspectos de la vida de las personas influyen en sus decisiones para mantener árboles en sus fincas. Esto se realizó a través del análisis de encuestas de los medios de sustento, usando un total de 47 variables. Los resultados mostraron el grado de asociación entre la cantidad de árboles que se mantiene y los motivos correspondientes para hacerlo. En las fincas ganaderas de Copán, el uso actual de la tierra ($p<0,0004$; plantaciones de café = 107 árboles/ha ±100; ganado = 19,74 árboles/ha ±22) y la altitud ($p<0,0089$, asociada a grandes alturas donde se encuentran las plantación de café) son las razones más importantes para tener árboles en las fincas.

Palabras clave capitales de la comunidad; opciones de los agricultores; servicios de los ecosistemas hídricos.

1 Introducción

De entre los diversos servicios derivados de los ecosistemas, se conoce como servicio ecosistémico hídrico (HES, por sus siglas en inglés) al abastecimiento de agua, que incluye las funciones de almacenamiento, retención y regulación (Costanza, et al., 1997; de Groot, et al., 2002). La agrosilvicultura ofrece este y otros servicios del ecosistema, los cuales necesitan ser explorados más a fondo (Jose, 2009).

El proceso de restauración del ciclo hidrológico ofrece el primer paso para la comprensión del HES, ya que la infiltración por lluvias afecta la cantidad y calidad de los sistemas del suelo y el agua subterránea (Wu, et al., 1996). Este es el insumo natural del agua subterránea en la capa freática, y el factor principal para su sostenibilidad (Grinevskii y Novoselova, 2011). Por lo tanto, se han dirigido los esfuerzos de investigación al proceso de infiltración, ya que se considera clave en los cambios hidrológicos derivados de las prácticas agrícolas (Chapman, 1990).

Con el fin de aumentar los sistemas productivos sostenibles, los proyectos de desarrollo actuales y pasados han estado promoviendo el incremento de árboles en los sistemas agrícolas; donde las técnicas agroforestales y silvopastoriles son los cambios más comunes asociados con las mejores prácticas de gestión de áreas de captación. Aunque los proyectos de desarrollo y conservación han centrado sus esfuerzos en utilizar la tierra para bosques, como un uso del suelo que proporciona la mayoría de los servicios del ecosistema, estos proyectos no han sido éxitosos. Esto se debe, entre otras razones, a que este uso de la tierra va en contra del contexto local de sistemas agrícolas administrados por pequeños productores (por ejemplo, para el ganado: 9,84 ha ±22,41; café = 3,86 ±3,03 ha, en las cuencas de Copán) y del uso de la tierra para la agricultura de subsistencia solamente. Asimismo, desde el inicio de dichos proyectos de desarrollo, la dimensión de dependencia mutua entre granjas y familias (Gray, 1998) no se ha tomado en consideración. La gestión es un factor clave en la comprensión de la teoría social de los recursos del suelo y de la tierra construida a través del tiempo (Barrera-Bossals, *et al*., 2006), de la que es posible identificar patrones (Chen, *et al*., 2010) o preferencias adoptadas por los agricultores locales.

A pesar de que es bien sabido que los sistemas agroforestales –la inclusión de árboles en el sistema agrícola– facilitan la prestación de servicios ecosistémicos, en particular aquellos de cultivos perennes como el café o el cacao, que están bastante extendidos en el Neotrópico (Rapidel, *et al*., 2011), estos todavía tienen que competir con varios sistemas agrícolas que evitan la inclusión de árboles en la finca. Son ejemplos de sistemas que evitan la inclusión de árboles: la ganadería extensiva, las plantaciones de piña y palma de aceite, entre otros, en América Central. Como resultado, un uso estrictamente forestal del suelo no es una alternativa factible. Por lo tanto, aumentar la cantidad de árboles en las fincas es una opción más realista para la conservación.

Este primer trabajo busca, primero, aclarar la función de los árboles en la recarga de aguas subterráneas a través de la promoción de los sistemas agro-silvo-pastoriles entre las mejores prácticas de gestión de áreas de captación, para proveer servicios ecosistémicos hídricos en los trópicos de América Central. En segundo lugar, trata de definir los vínculos y límites en las relaciones entre las percepciones de los agricultores y un sistema agrícola que mantiene más árboles en las áreas de captación.

2 Metodología

Contexto de los dos casos prácticos

Plantaciones de café bajo un sistema agroforestal en Aquiares, Turrialba, Costa Rica

La plantación de café se encuentra en la finca Aquiares, una de las más grandes en Costa Rica (6,6 km^2). Esta área pertenece al área de captación del Río Turrialba, en las faldas del Volcán Turrialba, que desagua en la cuenca del Río Reventazón, en la región central del Caribe de Costa Rica, y finalmente en el Mar Caribe. Esta finca ha sido objeto de la certificación Rainforest Alliance TM desde 2003.

El experimento se llevó a cabo como parte de la plataforma Coffee-Flux, ubicada en la micro-cuenca de la Quebrada Mejías, entre las coordenadas -83˚44’ (longitud oeste) y 9˚56’ (latitud norte), con una extensión de 0,9 km^2, rango de elevación, entre 1020 a 1280 m.s.n.m, media de pendiente del 20%, arroyos permanentes de 5,6 km, con una densidad de drenaje de 6,2 km/km^2 (Gómez-Delgado, et al., 2011). La finca Aquiares está homogéneamente sembrada de café (*Coffea arabica L., var Caturra*) en tierra desnuda, a la sombra de altos árboles de *Erythrina poeppigiana*. Los árboles de sombra tienen una densidad de 12,8 árboles ha-1, con una media de cobertura de dosel de 12,3% y altura de dosel de 20 m. Los suelos pertenecen al orden de los Andisoles, de acuerdo a la taxonomía

del suelo del USDA (1999), que son suelos desarrollados a partir de eyecciones volcánicas, bajo procesos de transformación a intemperie y procesos minerales. Se trata de procesos muy estables, con alto contenido de materia orgánica y de actividad biológica, y gran capacidad de infiltración. De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger (Peel, et al., 2007), el clima es tropical húmedo sin estación seca. En la región de estudio para el período 1973-2010, la precipitación media se estimó en 3.014 mm en la estación de la granja de Aquiares.

Terrenos de tierras de pastoreo naturales en las cuencas de captación del Río Copán, Honduras

El Río Copan fluye a una cuenca transfronteriza entre Honduras y Guatemala, desembocando en el Río Motagua y en el Mar Caribe. Este territorio es compartido por cinco municipios: Ruinas de Copan, Santa Rita, Cabañas, San Jerónimo y Concepción; las cuatro primeras organizadas bajo una comunidad de municipios conocida como MANCORSARIC. Esta cuenca se extiende aproximadamente por 620 km2 entre los 14˚43' y 14˚58' norte y 88˚53' a 89˚14' oeste. Los datos de 2007 indican que los pastos son el uso principal de la tierra de esta cuenca, abarcando 30% del territorio.

El tipo de suelo de esta área, conocida como Asociación Malcote, está clasificado como Typic Argiustolls, de acuerdo con el USDA (1986), que se caracteriza por suelos profundos con buen drenaje, desarrollados bajo rocas intrusivas. El suelo superficial se extiende a 20-30 cm de profundidad; sus texturas son entre franco-arcillosa y arcillosa (FAO-PESA y CATIE, 2007). El clima se describe como bosque seco tropical, de acuerdo a las zonas de vida de Holdridge (1978). En esta región la precipitación anual promedio fue de 1.772 mm en los últimos 32 años (datos proporcionados por una parte interesada local: Víctor Bueso López).

Hemos seleccionado las plantaciones de árboles de las comunidades de El Malcote, Sesesmiles y El Zapote, todas ubicadas en el área de captación de la parte baja del Río Copán. En todos los casos, estas fincas se han utilizado para el pastoreo de ganado en los últimos 20 años, con especies de pastos nativas mezcladas con especies mejoradas (*Cynodon dactylon, Cynodon plectostachyus, Panicum maximum y Brachiaria brizantha*), así como con grupos de árboles nativos viejos esparcidos por todos los pastos y cercas vivas de introducción más reciente (*Gliricidia sepium*), utilizadas como límites de fincas. Se llevaron a cabo pruebas de infiltrabilidad (método de doble anillo) por debajo de algunos de los grupos de *Byrsonima crassifolia, Lonchocarpus hedyosmus, Spondias purpurea, Ficus colibrinae y Lippia sp.* Como referencia, la carga animal promedio fue de 1,8 UA/ha en Sesesmiles, mientras la referencia para una gestión sostenible de la ganadería es de entre 1 y 1,3 UA/ha, con suplementos como bancos de forraje de gramíneas (Cristóbal Villanueva, comunicación personal), y se estima que en las otras granjas (El Zapote y El Malcote) esta carga animal puede ser aún mayor, por lo que en todos los casos se observaron señales de degradación del suelo debido al pisoteo.

Montaje experimental

Se establecieron transectos representando una condición en pares de: (i) de árboles o grupos árboles en el terreno de pastos y (ii) pastizal abierto en el caso práctico No. 2 (terrenos naturales de pastos de la cuenca de captación del Río Copán, Honduras). Para el caso práctico No. 1, se estableció una condición de pares similar de (i) árboles además de café y (ii) sólo café en las lagunas del sistema agroforestal (finca de café en Aquiares, Turrialba, Costa Rica). Para los transectos, que inician más o menos desde el punto central de un árbol (para el caso práctico No. 1) o de un grupo de árboles (caso práctico No. 2), se escogió al azar en qué dirección (norte, sur, este, oeste) moverse para hacer las pruebas de infiltrabilidad.

Se midió la infiltrabilidad cada un metro (1 m), realizando cinco repeticiones, en lo que se llamó "la parte del árbol del transecto", haciendo lo mismo en la parte de solo café. En total se hicieron 60 pruebas de infiltrabilidad para el caso práctico No. 1. En los terrenos de pastizales se utilizó el grupo de árboles para iniciar el transecto, también con cinco repeticiones bajo el dosel del árbol, y por la parte abierta de pastos del transecto, se utilizó la altura del árbol más alto del grupo como distancia para la primera prueba de infiltrabilidad. Para la segunda y tercera prueba se utilizaron dos y tres veces la altura, respectivamente. Se obtuvo un total de seis repeticiones en la parte abierta de pastos de los transectos y un gran total de 80 pruebas de infiltrabilidad para el caso práctico No. 2.

Las pruebas se realizaron utilizando un infiltrómetro de doble anillo (con diámetros de: 25 cm en el anillo interior, y 35 cm en el anillo exterior, manteniendo una altura de agua constante de 10 cm). Las pruebas se aplicaron hasta llegar a un estado constante. Los datos resultantes fueron modelados utilizando la ecuación de Philips (Philips, 1957).

Los análisis estadísticos llevados a cabo fueron: 1) la prueba de t para datos apareados para el caso práctico No. 1, donde el conjunto de datos se distribuyó normalmente, y 2) el análisis no paramétrico en el caso práctico No. 2, para dar cuenta de la diferencia entre el árbol y las condiciones de libre pastoreo. Los datos se analizaron usando el software estadístico Minitab.

Encuestas de los medios de sustento

En la región del caso práctico No. 2 se utilizaron los datos iniciales del proyecto MESOTERRA; un proyecto del CATIE que busca promover la gestión sostenible de las tierras degradadas en Centroamérica. La encuesta para recopilar datos se organizó bajo el enfoque de los medios de sustento en las capitales de la comunidad (Emery y Flora, 2006). Se seleccionaron 47 variables con el fin de analizar la relación entre la cantidad de árboles (variable de interés) y estas variables; que representan el capital natural, social, cultural y financiero de las comunidades. Las comunidades fueron representadas por 63 interesados (n). Se aplicó un análisis estadístico multi-variado con el fin de identificar las principales razones detrás de las decisiones de los agricultores de mantener los árboles en sus fincas. A través de los análisis de los cuadros de contingencia, de las pruebas Chi-cuadrado y del análisis de clasificación de árboles, nos las arreglamos para mostrar las variables que explican la elección de los agricultores de mantener los árboles en sus sistemas productivos. Se utilizó el software estadístico InfoStat para analizar la data.

3 Resultados y discusión

En Aquiares (caso práctico No. 1) no hubo diferencias en infiltrabilidad entre las áreas de árboles y las condiciones de ausencia de árboles (Fig. 1: $p = 0{,}105$; sin árboles media = 1.124 mm/ha; media del árbol = 898 mm/ha). Lo que sugiere que en términos de recarga de aguas subterráneas, una plantación de café sin árboles es mejor que una con árboles. Esta alta infiltrabilidad es típica de los Andisoles de roca volcánica (Gómez-Delgado, 2011). En Copán (caso práctico No. 2), los árboles de mayor infiltrabilidad (mediana Mood: $p = 0{,}009$; mediana de grupo de árboles = 146 mm/ha; mediana de pasto abierto = 47 mm/ha). Todos los valores de infiltrabilidad en Aquiares están por encima de la máxima intensidad de lluvias imperante (la intensidad de lluvia máxima en una hora = 46 mm/ha, en el mes más húmedo: junio de 2009). La mayoría de los valores de infiltrabilidad en Copán se encuentran por debajo de la máxima intensidad de lluvias imperante (la intensidad de precipitación máxima en una hora = 50 mm/ha, en el mes más húmedo de cada año: junio, 2010), especialmente donde no hay árboles.

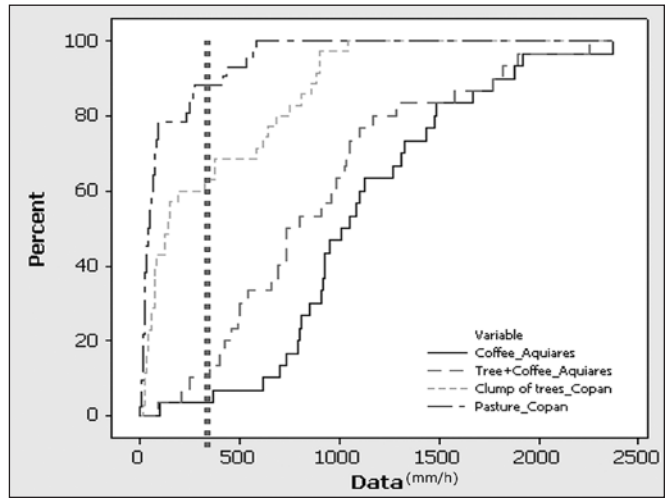


Fig. 1 Distribución de frecuencias acumuladas de los valores de infiltrabilidad en la finca de café Aquiares y de terrenos silvopastoriles de Copán. La línea punteada vertical indica el límite superior (100 mm/ha) de la intensidad de lluvia en los trópicos (Jackson, 1986).

Para el análisis de la encuesta medios de sustento aplicada en la región de estudio del caso No. 2, se dividió la variable de interés (cantidad de árboles por hectárea) en tres categorías; donde C1 representa la menor cantidad de árboles y C3, la más alta. Luego, a través del método de clasificación de árboles, se identificaron las variables que generan la separación entre estas categorías (cantidad de árboles por hectárea). La Fig. 2 muestra que la primera separación se da de acuerdo al uso actual del suelo (27 agricultores tienen pastos y los 36 restantes tienen café). El grupo de 36 agricultores se divide sucesivamente por la pendiente: un grupo está situado en laderas con pendiente <=77,5% (n = 33) y otro situado en laderas con pendiente >77,5% (n = 3). Las variables que separan las categorías de cantidad de árboles por hectárea son variables biofísicas. Los grupos menores se pueden explicar por las variables de precios del uso de la tierra en producción de café, altitud y uso anterior de la tierra.

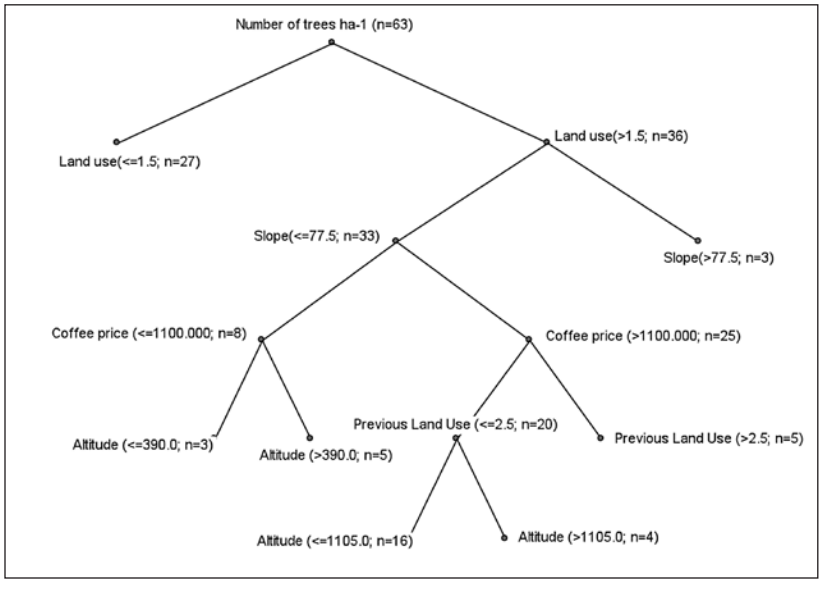


Fig. 2 Análisis de clasificación de árboles que explica la cantidad de árboles por hectárea en función del contexto agrícola local. Copán, Honduras.

Las variables que normalmente se recomiendan para explicar las preferencias en el uso de la tierra –los niveles de la organización, educación, capacitación formal, niveles de ingresos, entre otros (para un total de 47 variables, principalmente socio-económicas)– poco tienen que ver con la presencia de árboles en las fincas. Este resultado podría atribuirse a las estructuras sociales y de redes que modulan factores económicos, creando un patrón diverso: temporal, espacial y socialmente específico (Start y Johnson, 2004). Como resultado, cada actor o grupo de usuarios está lejos de ser homogéneo (Berkes, 2009).

Las decisiones de los agricultores de mantener los árboles en sus tierras responden a su propia lógica interna. Los resultados permiten mostrar el grado de asociación entre la cantidad de árboles y las razones por las que se mantienen estos árboles. Aquí, el uso actual del suelo ($p < 0{,}0004$; plantaciones de café = 107 árboles/ha ±100; ganado = 19,74 árboles/ha ±22) y altitud ($p < 0.0089$, con grandes alturas donde se encuentran las plantaciones de café) son las razones más importantes para tener árboles en sus fincas.

4 Conclusiones

En el contexto del caso práctico No. 2 (terreno de pastos en la cuenca de captación del Río Copán), los árboles contribuyen eficazmente al aumento de infiltrabilidad. Esto favorece la recarga de aguas subterráneas, especialmente en las tierras de pastoreo degradadas. Sin embargo, actualmente este uso de la tierra sigue siendo el menos favorable para mantener los árboles en el área.

La trayectoria y la historia cultural de los sistemas de producción de café en esta región han demostrado que son compatibles con el incremento de árboles en las áreas de captación. Al parecer, la región ha sido menos influenciada por factores externos (asociación, organización, capacitación). Por otro lado, el caso de los sistemas ganaderos –que es el sistema que refleja más beneficios de los árboles para la recarga de aguas subterráneas– mostró que sus prácticas de gestión no incluyen el aumento de los árboles en las cuencas.

Bajo el actual contexto agrícola de América Central –pequeñas granjas y prácticas de subsistencia de pequeños productores– existe la necesidad de cambiar las prácticas de conservación para promover el manejo forestal hacia un enfoque de incrementar los árboles en las fincas y, en última instancia, en las áreas de captación.

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a los profesores Fernando Casanoves e Ilstedt Ulrik por sus sugerencias y apoyo en los análisis estadísticos; a Karen Banegas por su ayuda con las encuestas de sustento; a Hugo Brenes por su apoyo en el procesamiento de la base de datos; a Cirad UMR Eco&Sols, a la plataforma Coffe-Flux (http://www5.montpellier.inra.fr/ecosols/Recherche/Les-projets/CoffeeFlux) por la logística e instrumentación meteorológica; a la Hacienda Aquiares por el acceso al terreno; a la familia Barquero por su constante apoyo en las campañas de campo en Aquiares, y a los proyectos MESOTERRA y FINNFOR, ambos dirigidos por el CATIE; a DAAD (Servicio Alemán de Intercambio Académico), a CONICIT (Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Costa Rica), y a la Fundación Schlumberger para el Futuro, por su apoyo financiero.

REFERENCIAS

Barrera-Bassols, N., J. A. Zinck e E, Van Ranst. (2006) Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales. *CATENA* 65 (2): 118-137.

Berkes, F. (2009) Evolution of co-management: Role of knowledge generation, bridging organizations and social learning. *Journal of Environmental Management* 90 (5): 1692-1702.

Chapman, T. G. (1990) Construction of Hydrological Models for Natural Systems Management. *Mathematics and Computers in Simulation* 32 (1-2): 13-37.

Chen, S. E., P. Bhagowalia y Shively, G. 2011. Input Choices in Agriculture: Is There A Gender Bias? *World Development* 39 (4): 561-568.

Costanza, R., R. d'Arge, R. Costanza, R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton y M. van den Belt. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387 (6630): 253-260.

de Groot, R. S., M. A. Wilson, y R.M.J. Boumans. (2002) A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41 (3): 393-408.

Gómez-Delgado, F., O. Roupsard, G. le Maire, S. Taugourdeau, A. Pérez, M. van Oijen, P. Vaast, B. Rapidel, J. M. Harmand, M. Voltz, J. M. Bonnefond, P. Imbach y R. Moussa. (2011) Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15 (1): 369-392.

Gray, J. (1998) Family farms in the Scottish borders: A practical definition by hill sheep farmers. *Journal of Rural Studies* 14 (3): 341-356.

Grinevskii, S. O., y M. V. Novoselova. (2011) Regularities in the formation of groundwater infiltration recharge. Water Resources 38 (2): 175-186.

Jackson, I. G. (1986) Relationships between raindays, mean daily intensity and monthly rainfall in the tropics. *International Journal of Climatology* 6 (2): 117-134.

Jose, S. (2009) Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76 (1): 1-10.

Peel, M. C., B. L. Finlayson, y M.C. Peel. (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11 (5): 1633-1644.

Philip, J. R. (1957) The theory of infiltration: 1. *The infiltration equation and its solution. Soil Sci* 83 (5): 345–357.

Rapidel, B. 2011. *Ecosystem services from agriculture and agroforestry: measurement and payment*. London; Washington, D.C., Earthscan.

Start, D. y C. Johnson. (2004) *Livelihood Options? The Political Economy of Access, Opportunity and Diversification*. London, Overseas Development Institute: 56.

Wu, J., R. Zhang y J.Yang. (1996) Analysis of rainfall-recharge relationships. *Journal of Hydrology* 177 (1-2): 143-160.

Acciones para la sostenibilidad ambiental y económica en dos cuecas HELP: São Francisco Verdadeiro (Brasil) y Carapá (Paraguay)

RAFAEL HERNANDO DE AGUIAR GONZÁLEZ[1], FRANCISCO PEDRO DOMANICZKY LANIK[1, 2], CÍCERO BLEY JUNIOR[1, 2] Y ANA CAROLINA GOSSEN SIANI[1, 2]

1 Centro Internacional Hidroinformático (CIH), Fundación Parque Tecnológico Itaipú(FPTI), Brasil/Paraguay
rafael@pti.org.br

2 ITAIPU Binacional, Brasil/Paraguay

Resumen Este artículo presenta una visión holística de un gran reservorio en la frontera de Brasil y Paraguay. Toma en cuenta las dos realidades diferentes a lado de sus características específicas. Presenta las acciones aplicadas en la búsqueda de soluciones que brinden beneficios económicos y ambientales, de esta manera creando una base para la sostenibilidad regional. Este estudio se realizó en dos cuencas hidrográficas: São Francisco Verdadeiro en el lado brasileño, y Carapá en el lado paraguayo. Esto demuestra dos escenarios analíticos, considerando la conservación de los recursos ambientales, el nexo entre agua y energía. El objetivo es minimizar la contaminación y deterioro, y maximizar el uso de los recursos disponibles dentro de la Cuenca.

Palabras clave agua; energía; conservación ambiental; acciones ambientales; biogas

1 Introducción

Las cuencas de São Francisco Verdadeiro (Brasil) y Carapá (Paraguay), están localizadas en la región central de Suramérica. Las dos cuencas son unidades hidrográficas pertenecientes a una red hidrológica de la Cuenca de Prata, la cual es considerada una de las cuencas más grandes en el mundo, con un área de 3,1 millones de km^2, equivalente a 17% de la superficie de Suramérica. En este contexto, el río principal del sistema hídrico de la Cuenca de Prata, es el Río Paraná, en el cual está localizada una de las más grandes plantas de producción hidroeléctrica en el mundo, Itaipú Binacional, cuyo reservorio tiene una extensión de 170 km en diámetro y una superficie en área de 1,350 km^2. La cuenca en referencia, contribuye directamente con el mantenimiento de Itaipú Binacional, reservorio que ha sido el más extenso y representativo área de drenaje, en el incremento de la cuenca de la planta hidroeléctrica, que tiene una importante influencia en la calidad del reservorio.

Las actividades productivas desarrolladas en las dos cuencas y en sus características regionales son similares, especialmente en una característica: la predominancia de pequeñas áreas urbanas y altas concentraciones de actividades agrícolas. Este artículo presenta las acciones exitosas que ocurrieron en la cuenca HELP, representada por una variedad de programas y proyectos de entidades involucradas en la búsqueda de soluciones a problemas comunes que surgen de las actividades agrícolas y agroindustriales.

Las actividades productivas desarrolladas en las dos cuencas y en sus características regionales son similares, especialmente en una característica: la predominancia de pequeñas áreas urbanas y altas concentraciones de actividades agrícolas. Este artículo presenta las acciones exitosas que ocurrieron en la cuenca HELP, representada por una variedad de programas y proyectos de entidades involucradas en la búsqueda de soluciones a problemas comunes que surgen de las actividades agrícolas y agroindustriales.

El objetivo de este artículo, es presentar dos escenarios. El primero es la cuenca de São Francisco Verdadeiro, un área influenciada y completamente afectada por la producción bovina, la cual es considerada una actividad de gran potencial contaminante, con énfasis en la acción de convertir

el desecho animal en fuente de energía, comenzando a partir de biogás. Lo cual fue considerado tempranamente como un desperdicio y descartado de la manera incorrecta, fue transformado en una fuente de producción de energía, estableciendo relaciones de reusos de recursos y un nuevo concepto en el uso de aguas residuales como una fuente de energía.

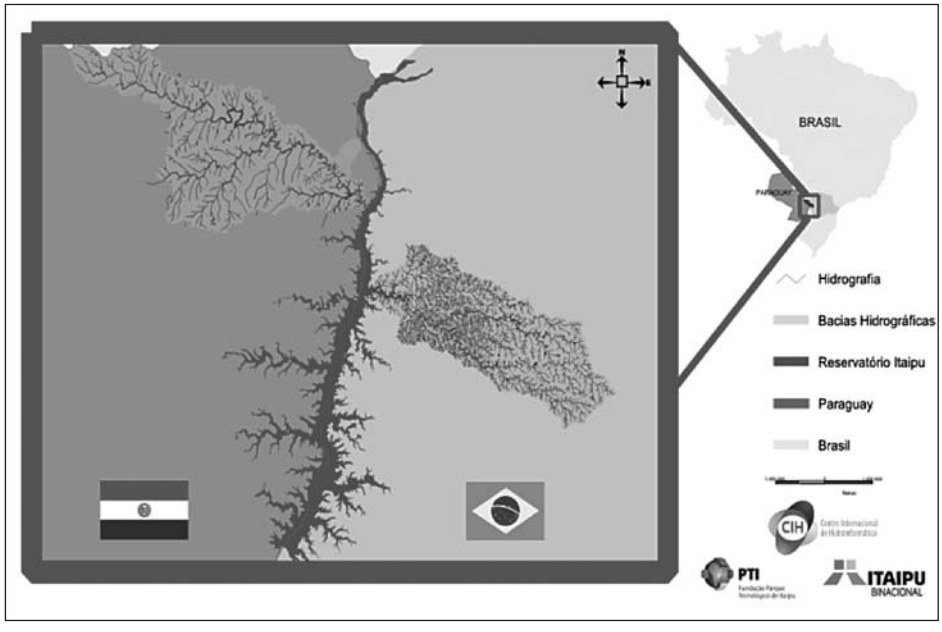


Fig. 1 Localización de las cuencas hidrográficas de SFV y Carapá.
Fuente: CIH (2011).

El segundo escenario, es la Cuenca del Río Carapá, considerado como una cuenca sustancial para la producción de granos como soya y maíz, con considerables conservación ambiental a través de acciones que ocurren en la región, por otro lado, considerando que este es el principal resultado de las actividades practicadas en la cuenca, la cual presenta áreas fragmentadas de vegetación original.

De manera que se comprendan estas cuencas hidrográficas, este artículo revela características específicas de ellas, primeramente aquéllas que son realizadas en la búsqueda de soluciones, que promuevan beneficios económicos y ambientales, por consiguiente proveyendo sostenibilidad regional, de la misma forma, el artículo presenta dos escenarios de implementación y sus capacidades para ser replicado en otras cuencas hidrográficas similares.

2 Cuencas HELP

Cuenca hidrográfica São Francisco Verdadeiro (Brasil)

La cuenca hidrográfica del Río São Francisco Verdadeiro (SFV) está localizada en el oeste del estado de Paraná en el sur de Brasil, en un área aproximadamente de 2.212 km², con su entrada y la confluencia del reservorio de la Planta Hidroeléctrica Itaipu Binacional. El Río São Francisco Verdadeiro se desplaza 240 km en su canal principal y su red hidrográfica corre aproximadamente 3280 km hasta alcanzar el reservorio, pasando a través de once (11), municipalidades con economías agrícolas principalmente.

Esta región está especializada en la conversión de proteínas vegetal en proteína animal, considerando su cadena productiva que va desde plantaciones de soya y maíz a producción industrial de puerco y aves, además de una intensa producción de ganado para leche. Porque generan desechos, son de interés a la red hidrológica, esto puede degradar la calidad del río y del reservorio de Itaipú debilitando el ambiente, ya que son actividades con algo potencial de causar impacto ambiental. Los nutrientes existentes en los desechos de la producción agrícola alcanzan los ríos causando la proliferación de algas dañinas. La calidad del agua es usualmente tóxica a los animales que son suplidos por ella, alcanzando estados de eutrofización y formación de pantano en los lados del río donde corre lento.

El análisis del uso del suelo en la cuenca, usando el Sistema de Información Geográfica (SIG), y las imágenes del satélite SPOT con fecha de 1990 y 2006, muestran el uso y la evolución regional de las actividades empleadas en la cuenca de acuerdo con la Fig. 2.

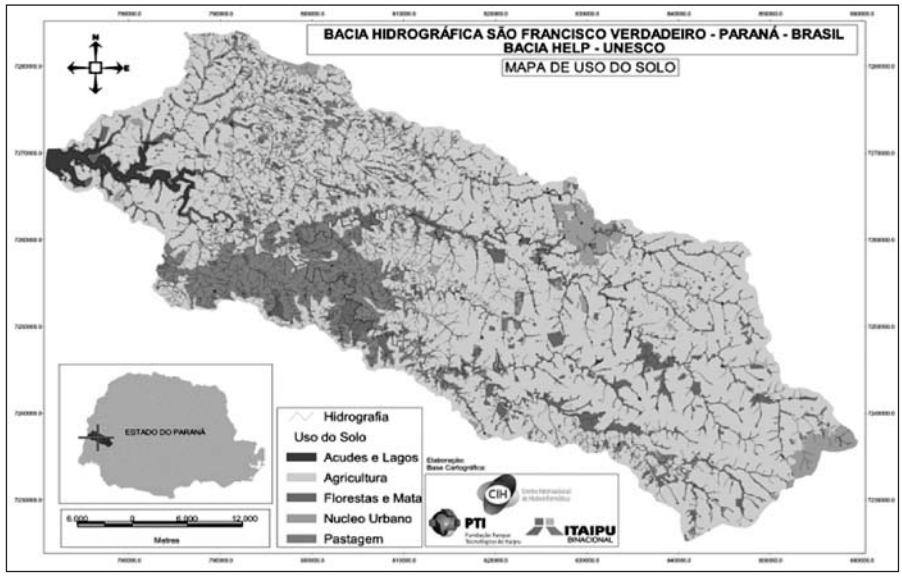


Fig. 2 Uso de suelo en la Cuenca de SFV.

Estos datos demuestran el crecimiento de la zona urbana (36 km² a 86 km²) considerando el desperdicio humano como un contaminante potencial, el incremento más representativo, sin embargo, su concentración en la zona cultivada (de 59 km² a 216 km²), provocada por una intensa producción agrícola que avanza hacia las áreas de bosques (de 614 km² a 352 km²), disminuyendo sus áreas de conservación.

En este punto, aparece que hay un cambio profundo y decisivo en la manera en que se dirigen y entiende la producción y como este intensifica sus efectos en el ambiente. Para establecer el desarrollo de la región, es necesario garantizar la disponibilidad de energía, por otro lado, es imposible de imaginar un la sostenibilidad futura sin la conservación del ambiente, sobre todo, la conservación del agua, el elemento esencial de la humanidad.

Los retos de establecer el nexo entre agua y energía, como elementos integrados y directamente relacionados, tratándolos de una manera conjunta, para futuras soluciones que reconcilien esta importante contradicción, es de manera sumamente importante para el desarrollo de esta región. La cuenca hidrológica de SFV tiene una producción intensa de ganado que genera desechos, contaminación a las aguas del río.

Por otro lado, los desechos, manejados de manera correcta, pueden ser transformados en energía para la conversión y uso de biogás como fuente de energía.

En este contexto, en la Fig. 3 se demuestra la "Cooperativa de Agro-Energía Para La Familia Agrícolas en el río Ajuricaba", una pequeña microcuenca perteneciente a la cuenca de SFV con aproximadamente 40 productores de ganado y conectados por una línea de gas que lleva el biogás a una planta termoeléctrica que tiene un potencial de producción de aproximadamente 1460 kWh/día.

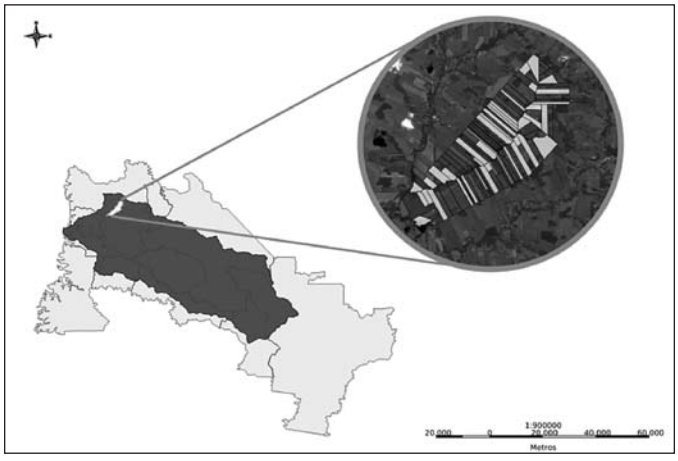


Fig. 3 "Cooperativa de Agro-energía para la familia agrícolas en el río Ajuricaba" Fuente: Itaipú Binacional, 2011.

Un estudio previo, sobre el potencial de producción de energía de los residuos de biomasa animal en la cuenca de SFV, se demuestra en la Fig. 4, que la cantidad de animales existentes en la cuenca pueden ser transformados en biogás, y después en energía, dando un factor específico de conversión utilizado por las regulaciones de IPPC "Guías para el inventario de gases de efecto de invernadero (2009).

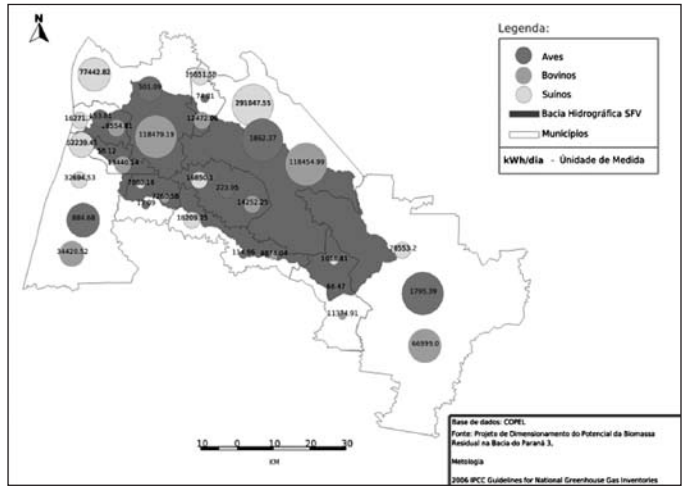


Fig. 4 Producción potencial de energía de los desechos animales. Fuente: Itaipu Binacional, 2011.

Los datos presentados en la Fig. 4, demuestran la cantidad del potencial de producción de la cuenca en kWh/día, estimado a ser un total de 987.392,46 kWh/día. De esta manera, es claro que este modelo puede ser aplicado como una forma de solución a los problemas ambientales que ocurren en la cuenca, y sobre todo, para asegurar el desarrollo regional considerando la energía como el

principal insumo para el desarrollo. El uso de fuentes de energía que reconcilian la preservación ambiental con la valuación de una económica en la región en este modelo, como principal el uso de los desechos animales como materia prima para la generación de energía se convierte en el énfasis de este estudio.

Cuenca de Carapá (Paraguay)

La cuenca del Río Carapá está situada en la Cuenca del Alto Paraná, localizada en el Departamento de Canindeyú este de la región este de Paraguay, con un área de 287.500 hectáreas, distribuidas sobre siete (7) pueblos. Tiene una altura promedio de 337 m, alcanzando los 220 en su entrada en el reservorio de Itaipú (Fig.1).

El largo y ancho de esta cuenca son: 115 km y 23,4 km, respectivamente, produciendo un promedio anual de drenaje de 40 m^3/s, con un máximo de variación de 183 m^3/s y un mínimo de 11 m^3/s, y una precipitación anual de 1700 mm, de acuerdo a las estadísticas de los últimos 10 años hasta mayo del 2011.

En términos de disponibilidad hídrica, el río Carapá tiene un promedio anual de drenaje de 40 m3/s, ofreciendo un estimado de 1.260 millones de m^3 de agua por año.

En relación a las aguas subterráneas, la cuenca está situada en lo alto del Sistema Acuífero de Guaraní (SAG), uno de los más extensos reservorios de aguas subterráneas del mundo. Este grupo de rocas arenosas, con espacio y grietas que son prellenadas con agua, tiene una reserva permanente de 45.000 Km^3. Se encuentra a una profundidad considerada, y su explotación ha sido relativamente menor, con 17 pozos artesanales que sirven a una pequeña región de menos de 5.000 habitantes. Esta aproximadamente a 160 metros de profundidad, con un drenaje entre $32m^3/s$ a $3m^3/$ y un promedio de 13 m^3/s, de acuerdo a el Servicio Nacional de Sanidad Ambiental de Paraguay.

La población de esta Cuenca no sobrepasa los 25.000 habitantes y su paisaje está cubierto con grandes áreas agrícolas. Hay una predominancia de actividad agrícola, con una producción principal de granos (soya y maíz). También hay una gran fragmentación de la vegetación de los bosques nativos, los cuales constituyen el último recurso forestal de la región, con un área de 35.000 hectáreas, lo que representa el 12% de la cuenca hidrográfica, causando la pérdida de las interconexiones de los habitantes y reduciendo la biodiversidad. En la Fig. 5 se demuestra la transformación de las áreas maderables citadas y la predominancia de las actividades agrícolas intensas en el orto mapa fechado desde 1993. El verde representa las áreas maderables remanentes.

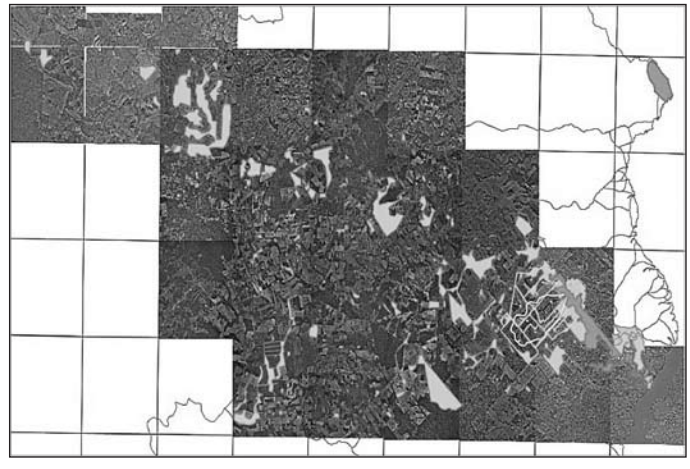


Fig. 5 Visualización de la Cuenca de Carapá, identificando las áreas maderables remanentes en los polígonos verde en la orto-foto-1993.

La metodología propuesta tiende hacia la sostenibilidad, relacionada a la minimización y corrección de la contaminación, y la maximización de los beneficios de los recursos hídricos para los recursos energéticos. La propuesta para seguir la evolución de la cuenca, consiste en establecer gráficamente una línea base de la situación de la cuenca. Las diferentes acciones ambientales y las actividades son luego llevadas a cabo utilizando una forma estructurada enfocada en conjunto con una amplia participación individual que es consciente, y estimulada por los usuarios de los recursos hídricos de la cuenca. Esta propuesta considera el uso permanente de acciones preventivas utilizando tecnologías amigables con el ambiente, exploración agrícola intensiva, y la preservación de fragmentos de bosques, con el respectivo fomento del uso de biomasa en los sistemas de interconexiones entre las áreas fragmentadas, causando una simulación dinámica de la cadena trófica natural, y las subsecuente preservación de especies nativa, y parcial recomposición de su hábitat.

Consecuentemente, la propuesta articula el desarrollo de actividades para el programa ambiental de Itaipú Binacional, y las actividades de control y monitoreo que la compañía realiza en la región, buscando sistematizarlas y estructurarlas en un esfuerzo coordinado con otras instituciones del gobierno dentro del contexto de acciones legales con la cuenca y las micro cuencas como la que provee la ley 3239/2007.

Esta propuesta detalla actividades caracterizando el uso de agua en las micro cuencas y la sistematización de la información concerniente a la preservación o protección de los márgenes de los cursos de aguas, así como la promoción de medidas agroecológicas. Estas medidas minimizan la erosión del suelo y la sedimentación delos recursos hídricos, así como su aplicación en agua potable y su saneamiento.

Otro elemento crítico en esta metodología es la conformación y fortalecimiento de la participación colectiva e individual de los grupos de la cuenca, respaldado por la amplia participación de los usuarios de los recursos hídricos, promoviendo acciones preventivas legales en la cuenca. Esta metodología espera alcanzar los siguientes objetivos:

- Rescatar los lechos de ríos y quebradas dentro de la Cuenca hidrográfica para mitigar el efecto de la erosión y la sedimentación
- Reducir la contaminación por agro tóxicos con el adecuado tratamiento de la producción de residuos
- Regeneración de los suelos degradados, mejorando su capacidad y la recuperación de las áreas de bosques
- Establecer el desarrollo de políticas que garanticen agua potable para la población
- Restablecer los corredores biológicos y las cadenas de reproducción, incrementando la biodiversidad
- Utilización de biomasa para energía y preservación de la cuenca hidrográfica
- Servir como un ejemplo regional de buenas prácticas de manejo de cuencas

3 Red Radio Agua – Un modelo de comunicación para los proyectos en Cuencas hidrográficas HELP

Red Radio Agua es un proyecto desarrollado por el Centro Internacional de Hidro informática (CIH), socio con el Consejo de Energía Renovable (ER-GB) de Itaipú Binacional (IB), la Fundación del Parque Tecnológico de Itaipú (FPTI) y el Programa Hidrológico Internacional (IHP) de la UNESCO. A través de la enseñanza y la mediación del aprendizaje colaborador, la Red Radio Agua trabaja en diferentes idiomas con énfasis en archivos audiovisuales, uniendo esfuerzos y creando conocimiento educacional interactivo, y fomenta a la sociedad civil a la construcción de la ciudadanía y la promoción de la sostenibilidad en Latinoamérica y el Caribe. Con esto se espera, que a través de este esfuerzo de

modelo de comunicación, la interacción del proyecto en las cuencas hidrográficas de São Francisco Verdadeiro y Carapá, puedan usar la Red Radio Agua como su principal comunicación. Esto servirá como información e intercambio de experiencias para cada ambiente. Utilizando, un concepto más inclusivo, este puede ser descrito como una plataforma web interactiva dedicada a la comunicación, y al desarrollada enteramente con herramientas libres, que facilitan el intercambio de información y experiencias, a través del acceso de la información sobre agua, tecnología, energía y ambiente. El proyecto aborda la comunicación principalmente hacia un bien común, a través de un modelo en el cual el usuario tiene el espacio para interactuar, producir y publicitar, su propio contenido, creando un intercambio de conocimiento, una construcción de comunidad, y la promoción de la sostenibilidad a través de la participación y colaboración de la sociedad en la cuenca hidrográficas en cuestión.

4 Consideraciones finales

Este modelo dirige la elaboración y la definición de futuros escenarios en el campo de agua y energía. Considera el mantenimiento de los ecosistemas, con un mínimo de impacto ambiental de las actividades productivas, en la cuenca hidrográfica. El modelo trata el agua como un recurso necesario para la vida, y la energía como un recurso necesario para el desarrollo regional. La cuenca hidrográfica es entonces convertida en una unidad de producción de energía.

REFERENCIAS

BLEY, C. J.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M.; OLIVEIRA, M. M. (2009) *Agroenergia da Biomassa Residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais*. Foz do Iguaçu/Brasília: Technopolitik Editora.

ITAIPU Binacional – Programas Cultivando Água Boa/Porã e Plataforma Itaipu de Energias Renováveis.

González, R. H. A. (2008) *Derivação de dados da bacia hidrográfica são francisco verdadeiro – paraná com uso de geoprocessamento*. UDC.

OEA. *Cuenca del río de la Plata; estudio para su planificación y desarrollo.* Washington, D. C.

La travesía del agua y problemas en la cuenca de un río con recursos limitados

RUTH GAMBOA[1] & DECLAN HEARNE[2]

1 University of the Philippines Mindanao, Mintal, Davao City, Filipinas
ruthupmin@yahoo.com

2 HELP-Davao, DOST Region XI Compound, Bajada, Davao City, Filipinas

Resumen Usando el modelo de GIRH en el último siglo, la travesía del agua de la Ciudad de Davao al sur de Filipinas, puede dividirse en tres vueltas principales, a saber: abastecimiento, sostenibilidad y gobernabilidad. La primera vuelta tiene que ver con el abastecimiento de agua para consumo. Los manantiales y el agua de lluvia fueron reemplazados a la vuelta del Siglo XX por agua del grifo en la década de los años 70 cuando se estableció el distrito del agua. El distrito del agua extrae el agua subterránea y a medida que las áreas donde se construyen infraestructuras continúan expandiéndose, se ha avanzado la cantidad y calidad del agua subterránea. La siguiente vuelta inició al final del siglo y tiene que ver con la sostenibilidad del agua, que incorpora la ciencia a la planificación. En 1998 la ONG, Gente Colaborando para la Gestión Económica y del Ambiente (PCEEM, en inglés), fue pionera al gestionar el agua al nivel de ecosistema y encargando estudios técnicos. El enfoque de usar la ciencia fue adoptado por la ciudad y culminó en la aprobación del Código de Cuencas Hidrográficas en el año 2007. Esto marca la tercera vuelta la cual está integrando la gobernabilidad del agua por parte de oficiales que tienen que recibir su mandato electoral cada tres años. Cada vuelta principal tiene sus sub-vueltas a su vez y a medida que los desastres relacionados al agua se vuelven eventos reales en la ciudad, la concientización local ha movilizado la auto ayuda y grupos de ayuda, donde se espera que el gobierno local sea un campeón a través de las administraciones políticas

Palabras clave modelo de espiral; gobernanza; agua subterránea

5. Educación e intercambio de conocimientos sobre recursos hídricos

Aplicación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas a una cuenca HELP en zona árida: La Cuenca del Río Elqui en la parte norte-central de Chile

ANA ELIZABETH CORTÉS[1], RICARDO OYARZÚN[2,3], NICOLE KRETSCHMER[3], HENRIQUE CHAVES[4] Y GUIDO SOTO[1]

1 Centro Hídrico para las Zonas Áridas y Semiáridas en Latino América y el Caribe (CAZALAC), La Serena, Chile
2 Departamento Ingeniería de Minas, Universidad de La Serena, La Serena, Chile
3 Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, Universidad de La Serena, La Serena, Chile
4 Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Brasilia, Brasilia, DF, Brasil

Resumen El Índice de Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (WSI, por sus siglas en inglés), desarrollado para estimar de manera integrada la sostenibilidad de una cuenca con un énfasis en la administración de los recursos hídricos, fue aplicado en la Cuenca Fluvial de Elqui durante un período de cinco años (2001-2005). La cuenca de Elqui está localizada en una región semiárida de Chile y ha sido recientemente incorporada a la Red de Cuencas Fluviales del Programa HELP de la UNESCO. El resultado fue un valor WSI de 0,6 (en un rango de 0-1) clasificando la sostenibilidad de la cuenca como "intermedia". Las fortalezas más importantes de la cuenca estuvieron relacionadas con los componentes Ambiente y Política. Por otro lado, las debilidades observadas estuvieron relacionadas al indicador Hídrología, principalmente debido a los problemas por escasez. La determinación del WSI en la cuenca de Elqui demostró valor de este método como instrumento analítico cuantitativo y como herramienta administrativa práctica para las autoridades hídricas, los usuarios y demás partes interesadas. Sin embargo, la actualización de la información regional es recomendada para incrementar la precisión del WSI e incorporar el método a estrategias de mediano y largo plazo para la cuenca de Elqui y otras cuencas vecinas.

Palabras clave Hidrología; ambiente; vida; política; índice de sostenibilidad de la cuenca hidrográfica; cuenca fluvial de Elqui

1 Introducción

En el año 2008, la cuenca fluvial de Elqui en Chile fue incluida como una nueva cuenca dentro de la red mundial de cuencas del Programa HELP. Una de las primeras incitativas fue evaluar, utilizando el método WSI, el nivel de sostenibilidad de la situación actual y las prácticas administrativas adoptadas por la cuenca. La aplicación del WSI, presentada en esta contribución, fue llevada a cabo como parte de las tareas de trabajo del Centro Hídrico para las Zonas Áridas y Semiáridas en Latinomérica y el Caribe (CAZALAC), apoyado por la UNESCO, junto con el Programa HELP de la UNESCO, con el propósito de obtener el WSI para en la cuenca fluvial de Elqui. El estudio apuntó a realizar un análisis de las potencialidades y limitaciones asociadas con la aplicación de los indicadores de sostenibilidad en general y al WSI en particular.

2 Metodología

Área de estudio

La cuenca fluvial de Elqui está localizada en la parte Norte Central de Chile. Se extiende entre los 29º27`- 30º34`S y 71º22`-69º52` O, cubriendo un área de captación de 9.700km^2 (Fig. 1). Incluye tres sub-cuencas hidrográficas: el Río Turbio (4.200km^2), Río Claro (1.550 km^2), y el Río Elqui (3.950 km^2) (Oyarzun, *et al*., 2006). Todo el sistema hidrológico se extiende desde las montañas Andinas al Océano Pacifico con una longitud de solo 150km. Por lo tanto, las cuenca presenta diferencias de

altitud extremas entre su cabeza de agua y el punto de descarga hacia el océano (alrededor de 5.000 m), lo cual favorece la existencia de corrientes fluviales turbulentas.

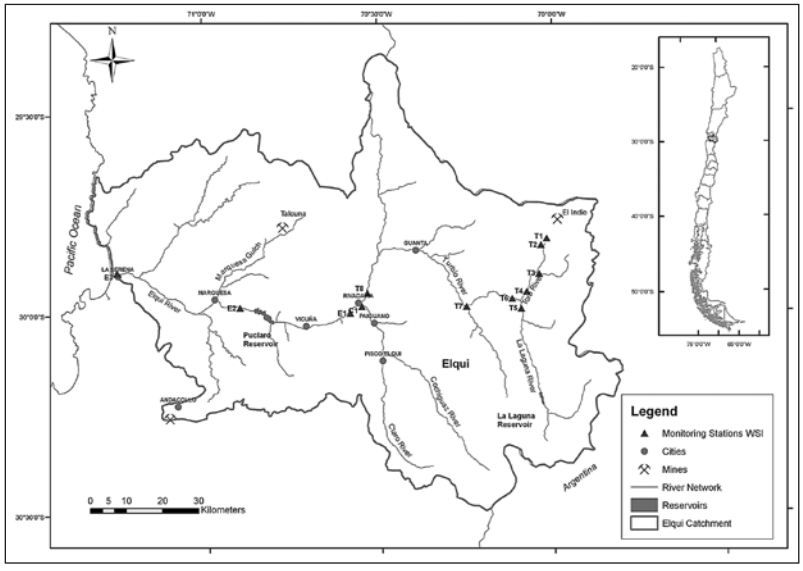


Fig. 1 La Cuenca del Río Elqui con varios ríos afluentes, ciudades, distritos mineros y estaciones de monitoreo hídrico.

El WSI

El Índice de Sostenibilidad de Cuencas (WSI, por sus siglas en inglés) es descrito en detalle en Chaves y Alipaz (2007) y en UNESCO (2008). Por lo tanto, para ahorrar espacio, únicamente cubrimos aquí aquellos aspectos claves del mismo, así como también algunas modificaciones realizadas durante el proceso de ser escogido para la cuenca del Río Elqui.

El WSI es un indicador integrado de cuenca, utilizado para estimar la condición de sostenibilidad de una cuenca determinada, tomando en cuenta los aspectos hidrológicos, ambientales y socioeconómicos (Chaves y Alipaz, 2007; UNESCO, 2008):

$$WSI= (H +E+L+P)/4 \quad (1)$$

donde *WSI* (0-1) es el índice de sostenibilidad de la cuenca; *H* (0 -1) es el subindicador hidrológico; *E* (0 -1) es el subindicador ambiente; *L* (0-1) es el subindicador de vida (humana); y *P* (0-1) es el subindicador de política. Todos los subindicadores tienen el mismo peso, ya que su importancia relativa no puede ser establecida *a priori* (Chaves y Alipaz, 2007).

Cada uno de los cuatro subindicadores del WSI es determinado por información que representa el estatus actual de Presión (por ejemplo, actividades humanas que podrían causar o provocar problemas en el ambiente; por lo tanto, los componentes de Presión describen la emisión contaminante y el uso de los recursos naturales); Estado (por ejemplo, situación de distintos aspectos del ambiente en determinado momento; el Estado también depende de las condiciones naturales, las presiones sobre el sistema y las acciones de protección tomadas); y Respuesta (los componentes de respuesta se relacionan a los esfuerzos de la sociedad y administradores a enfrentar los problemas ambientales y reclamar

sistemas menoscabados). Esto sigue un modelo de dinámica establecido por la OECD. La ventaja de utilizar un enfoque Presión-Estado-Respuesta se encuentra en el hecho de que se toman en cuenta los aspectos causa-efecto, permitiendo a los distintos interesados, administradores, y generadores de discusión el tomar nota de y comprender los parámetros entre las interconexiones (OECD, 2003). Cada uno de estos componentes cuantitativos y cualitativos es dividido en niveles y resultados (por ejemplo, 0; 0,25; 0,50; 0,75 y 1; donde 0 es asignado a la peor condición, mientras que 1 representa el mejor estatus), así permitiendo el uso de simples hojas de cálculo en lugar de ecuaciones u otras complejas funciones para el cálculo del WSI (Chaves y Alipaz, 2007). La información detallada respecto a los distintos componentes, sus niveles y resultados, se halla en las Tablas 1, 2, y 3.

Tabla 1 Descripción de la los parámetros de Presión, niveles, y resultados del WSI (Chaves and Alipaz, 2007).

Subindicador	Componentes de Presión	Nivel	Resultado
Hidrología	Δ1-variación per cápita del agua disponible en la cuenca en el período estudiado, relativo al promedio a largo plazo (m^3/años persona)	Δ1<−20%	0,00
		−20%<Δ1<−10%	0,25
		−10%<Δ1<0%	0,50
		0<Δ1<+10%	0,75
	Δ2-variación DBO5 en la cuenca durante el período estudiado, relativo a los promedios a largo plazo	Δ2>20%	0,00
		20%>Δ2>10%	0,25
		0<Δ2<10%	0,50
		−10%<Δ2<0%	0,75
		Δ2<−10%	1,00
Ambiente	E.P.I. de la cuenca (rural y urbana) en el período estudiado	EPI>20%	0,00
		20%<EPI>10%	0,25
		10%<EPI<5%	0,50
		5%<EPI<0%	0,75
		EPI<0%	1,00
Vida	Variación en la cuenca en el IDH-Ingreso en el período estudiado, relativo al período anterior.	Δ<−20%	0,00
		−20%<Δ<−10%	0,25
		−10%<Δ<0%	0,50
		0<Δ<+10%	0,75
		Δ>+10%	1,00
Política	Variación en la cuenca en el IDH-Educación en el período estudiado, relativo al período previo	Δ<−20%	0,00
		−20%<Δ<−10%	0,25
		−10%<Δ<0%	0,50
		0<Δ<+10%	0,75
		Δ>+10%	1,00

Tabla 2 Descripción de los parámetros de Estado, niveles y resultados del WSI (Chaves and Alipaz, 2007).

Subindicador	Componente Estado	Nivel	Resultado
Hidrología	Disponibilidad de agua per cápita (m3/años persona), considerando tanto superficie como fuentes de agua subterráneas	Wa<1.700	0,00
		1.700<Wa<3.400	0,25
		3.400<Wa<5.100	0,50
		5.100<Wa<6.800	0,75
		Wa>6.800	1,00
	Promedio DBO5 (mg/l) de la cuenca	DBO>10	0,00
		10<DBO<5	0,25
		5<DBO<3	0,50
		3<DBO<1	0,75
		DBO<1	1,00

Ambiente	Porcentaje de área de la cuenca bajo vegetación natural (Prom.)	Prom<5	0,00
		5<Prom<10	0,25
		10<Prom<25	0,50
		25<Prom<40	0,75
		Prom>40	1,00
Vida	IDH de la cuenca (ponderado por población)	HDI<0,5	0,00
		0,5<HDI<0,6	0,25
		0,6<HDI<0,75	0,50
		0,75<HDI<0,9	0,75
		HDI>0,9	1,00
Política	Capacidad institucional de la cuenca en GIRH (legal and organizacional)	Muy pobre	0,00
		Pobre	0,25
		Mediano	0,50
		Bueno	0,75
		Excelente	1,00

Tabla 3 Descripción de los parámetros de Respuesta, niveles y resultados del WSI (Chaves y Alipaz, 2007).

Subindicador	Componentes de Respuesta	Nivel	Resultado
Hidrología	Mejoras en la eficiencia de la utilización de agua en la cuenca durante el período estudiado	Muy Pobre	0,00
		Pobre	0,25
		Medio	0,50
		Bueno	0,75
		Excelente	1,00
	Mejoras en el tratamiento/eliminación adecuado de aguas residuales en la cuenca durante el período estudiado	Muy Pobre	0,00
		Pobre	0,25
		Mediano	0,50
		Bueno	0,75
		Excelente	1,00
Ambiente	Evolución de áreas para la conservación de cuencas (Áreas protegidas y BMPs) durante el periodo estudiado	Δ<−10%	0,00
		−10%<Δ<0%	0,25
		0<Δ<+10%	0,50
		+10%>Δ>+20%	0,75
		Δ>20%	1,00
Vida	Evolución del IDH en la cuenca durante el período estudiado	Δ<−10%	0,00
		−10%<Δ<0%	0,25
		0<Δ<+10%	0,50
		+10%>Δ>+20%	0,75
		Δ>20%	1,00
Política	Evolución de los gastos en GRH en la cuenca durante el periodo estudiado	Δ<−10%	0,00
		−10%<Δ<0%	0,25
		0<Δ<+10%	0,50
		+10%>Δ>+20%	0,75
		Δ>20%	1,00

Recolección de información

La información requerida para determinar el WSI para la cuenca del Río Elqui fue obtenida de varias fuentes, tales como reportes técnicos disponibles e información pública, así como también por medio de entrevistas informales con profesionales y autoridades de organizaciones, tanto públicas como privadas, de la Región de Coquimbo. Para mayores detalles, el lector es referido a Cortés (2010).

Adaptaciones del WSI

Con respecto a la metodología del WSI descrita en Chaves y Alipaz (2007), algunas modificaciones fueron hechas en la aplicación de la cuenca de Elqui. Las mismas se detallan como sigue:

a. Extensión espacial de la unidad de análisis: Aunque la metodología original sugiere un área máxima de cuenca de 2.500 km^2 para la aplicación del WSI, y en el caso de cuencas más grandes, sus subdivisiones, se escogió el WSI para la cuenca de Elqui en su totalidad. Esto fue debido al hecho que, aunque existía alguna información al nivel de la municipalidad, la subdivisión administrativa no coincide necesariamente con la sub-cuenca. Por lo que se decidió agregar la información en la escala Provincial[1] dado el hecho de que, al menos en la cuenca de Elqui, los límites son más coincidentes entre ellos.

b. Parámetro de calidad de agua: Ya que la metodología del WSI permite la substitución del DBO5, originalmente considerado en Chaves y Alipaz (2007), por otros parámetros críticos de calidad hídrica, la Conductividad Eléctrica (EC, por sus siglas en inglés) fue escogida en su lugar. Aunque este parámetro no nos da específicamente información sobre los iones particulares en el agua, el detectar posibles impactos ambientales derivados de la minería o agricultura podría ser de gran ayuda en la cuenca. Los umbrales están descritos en las regulaciones de calidad hídrica Chilena, NCh 1333 (INN, 1987) y las regulaciones sobre la calidad de agua de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2008). De todo esto, se definieron los niveles y rangos para los componentes (Tabla 4).

Tabla 4 Parámetro Estado de la calidad hidrológica, niveles y resultados considerados en este estudio.

Componente	Parámetro	Nivel	Resultado
Calidad del Agua	Promedios EC de la cuenca a largo plazo	EC> 2.250	0,0
	(μmhos/cm)	2.250> EC > 1.600	0,25
		1.600> EC > 750	0,50
		750> EC > 600	0,75
		600 > EC	1,00

c. Componente de Repuesta ambiental: este elemento considera la evolución de las áreas protegidas, pero esto no fue posible de determinar en el caso del estudio, tomando en cuenta que no existen áreas protegidas en la cuenca de Elqui. Sin embargo, existe un Programa Estatal orientado hacia el reclamo de suelos degradados y/o erosionados (el *Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados,* SIRSD-Sustentable), el cual se consideró como una alternativa viable para la determinación de los parámetros de respuesta ambiental.

Taller de validación con la participación de los sectores interesados

Luego de la recolección de data inicial, la sistematización y el análisis, un taller de socialización y validación, tanto de la metodología del WSI como de los resultados preliminares, se llevo a cabo con diferentes sectores interesados. Esta actividad fue especialmente útil para determinar aquellos aspectos cualitativos del WSI.

1 La Provincia es una división administrativa intermedia en Chile, entre la Región y las Municipalidades.

3 Resultados del WSI

El WSI es simplemente el promedio global de cuatro subindicadores (H-E-L-P). Aplicando la ecuación 1, un WSI general de 0,60 fue obtenido por la cuenca del Río Elqui. La Tabla 5 presenta los niveles, resultados y el WSI general para la cuenca de Elqui. Utilizando un sistema de clasificación similar al de del IDH del PNUD (por ejemplo, bajo para un IDH < 0,5, intermedio para un IDH entre 0,5 y 0,8, y alto para un IDH > 0,8) (Chaves y Alipaz, 2007), el WSI obtenido para la cuenca de Elqui cae bajo el nivel intermedio. Adicionalmente, según la Tabla 5, el subindicador con el resultado más bajo fue el de Hidrología (0,5), mientras que los subindicadores con los resultados más altos fueron Ambiente y Política (0,67). En términos generales, en las columnas de Presión, Estado y Respuesta, los resultados más bajos fueron obtenidos por la Presión (0,53), y el más alto por el Estado (0,66). Esto indica que aunque las condiciones actuales de la cuenca (Estado) son moderadamente buenas, aún existen presiones que amenazan la sostenibilidad de la cuenca que no están relacionadas a un factor específico.

Tabla 5 Niveles y valores para los parámetros y el WSI de la Cuenca de Elqui.

	Presión		**Estado**		**Respuesta**		**Resultado**
	Nivel (%)	**Resultado**	**Nivel**	**Resultado**	**Nivel**	**Resultado**	
Hidrología	-3,37	*0, 5*	2.766	***0,25***	Medio	*0,5*	
	-0,10	0,75	1.525	*0,50*	Medio	*0,5*	
		0,63		0,38		*0,5*	0,50
Ambiente	7,0	*0,5*	0,72	1,00	0,1%	*0,5*	0,67
Vida	-1,3	*0,5*	0,76	0,75	0,52	*0,5*	0,58
Política	-7,34	*0,5*	Medio	*0,50*	>20%	1,00	0,67
Resultado		0.53		0.66		0.63	0.60

Más específicamente, la matriz exhibe en letras itálicas aquellas combinaciones de subcomponentes y parámetros considerados como cuellos de botella, y en itálica y negrita aquel (Estado Hidrológico) que representa una "alerta". Estos aspectos deberán ser específicamente abordados por los usuarios de agua, interesados, y responsables de la toma de decisiones para mejorar la sostenibilidad general de las cuencas a mediano plazo. Se puede observar que un gran "cuello de botella" está relacionado con la cantidad de agua disponible en la cuenca. Este hecho no es sorprendente para cuencas en áreas áridas o semiáridas, donde existe una fuerte demanda por los escasos recursos hídricos.

4 Conclusiones

Un Índice de Sostenibilidad de Cuencas de 0,6 se obtuvo para el período 2001-2005, el cual puede ser considerado como un nivel medio de sostenibilidad. La herramienta de WSI tiene un comportamiento útil, simple y adaptable como instrumento para evaluar la situación actual de la sostenibilidad de una cuenca, y es viable para apoyar la evolución de los procesos de tomas de decisiones hacia una administración de las cuencas integrada y orientada en el ambiente. La identificación de los cuellos de botella y alertas se convierte en una ventana de oportunidad para mejorar la situación actual de la cuenca, buscando una coordinación más efectiva entre las distintas instituciones relacionadas con la administración de los recursos.

El WSI es un índice holístico, de gran potencial para los propósitos administrativos ambientales, dado el hecho de que este incorpora factores sociales, económicos y ambientales dentro del análisis de la sostenibilidad. Ciertamente, podemos decir que esta herramienta, siempre que sea aplicada con regularidad (por ejemplo, cada 5 años), puede ser una descripción apropiada de la evolución de las condiciones de la cuenca en términos de sostenibilidad, ayudando a los diferentes interesados y administradores hídricos en la planificación, toma de decisiones y en la implementación de estrategias locales para un desarrollo sostenible. Además, puede ser usada como una herramienta de referencia en otras cuencas de la Región de Coquimbo, así como también en otras partes del país o en otros países que estén buscando una definición y un fortalecimiento de los planes administrativos de las cuencas y mecanismos e índices de verificación de desempeño.

REFERENCIAS

Chaves, H.M.L. y Alipaz, S. (2007) An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: The watershed sustainability index. *Water Resources Management* 21: 883-895.

Cortés, A.E. (2010) *Determinación de un índice de sustentabilidad de cuencas (WSI) para la cuenca hidrográfica del rio Elqui* (Cuenca HELP-UNECO). Tesis de Maestría, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.

(INN) Instituto Nacional de Normalización. (1987) *Norma Chilena Oficial: Requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos* (NCh133.Of78). Santiago, Chile.

(OECD) Organization for Economic Cooperation and Development. (2003) *OECD Environmental Indicators: Development, Measurement and Use*. París, Francia.

Oyarzun, R., Guevara, S., Oyarzún, J., Lillo, J., Maturana, H. e Higueras, P. (2006) The As-contaminated Elqui river basin: a long lasting perspective (1975–1995) covering the initiation and development of Au–Cu–As mining in the high Andes of northern Chile. *Environmental Geochemistry and Health*. DOI 10.1007/s10653-006-9045-1.

UNESCO. (2008) *Evaluación objetiva de la aplicación y cálculo del Índice de Sostenibilidad de Cuenca en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá*. Documentos Técnicos del PHI-LAC, Nº 12.

WHO. (2008) *Guidelines for Drinking Water Quality*. World Health Organization. Available at: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq. Acceso en diciembre 22, 2008.

Análisis de correlación entre extracción de aguas subterráneas y hundimientos de tierra en la Planicie de Beijing, China

CHEN BEIBEI[1, 2, 3], GONG HUILI[1, 2, 3], LI XIAOJUAN[1, 2, 3], LEI KUNCHAO[1, 4], LI JIWEI[1, 2, 3] & DANG YANAN[1, 2, 3]

1 *Base of the State Key Laboratory of Urban Environmental Process and Digital Modeling, Capital Normal University, Beijing, China*

2 *Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing, China*

3 *College of Resources, Environment, and Tourism, Capital Normal University, Beijing, China*
gonghl@263.net

4 *Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Beijing, China*

Resumen Debido a la sobreexplotación a largo plazo de las aguas subterráneas de las llanuras de Beijing, se han formado depresiones de aguas subterráneas y hundimiento de tierras. En este estudio se estableció un modelo de proceso de acoplamiento basado en la variación dinámica de las aguas subterráneas y la respuesta de deformación ocasionada por subsidencia. Se analizó de forma sistemática la variación dinámica de los conductos de agua subterránea en las áreas de Beijing, así como el proceso de respuesta evidenciado en el hundimiento del terreno. Esto se logró mediante la combinación de redes de monitoreo de agua subterránea, datos de monitoreo de las redes, sistemas de posicionamiento global (GPS), datos de radar por satélite SAR, sistemas de información geográfica (SIG) y otras tecnologías. Los estudios indican que las áreas de conducto de aguas subterráneas actuales se distribuyen principalmente en Tianzhu (Distrito de Shunyi) y en el noreste del Distrito de Chaoyang, con una tasa de descenso medio del nivel freático de 2,66 m/a, y una tasa de descenso máximo del nivel de agua de hasta 3,82 m/a en el centro del conducto. Se manifestaron diferencias estacionales e interanuales en el modelo de respuesta del hundimiento del suelo para los conductos de aguas subterráneas, con una distribución espacial y temporal irregular, donde la tasa máxima de hundimiento del terreno fue de 41,0776 mm/a, y el área con una tasa de hundimiento de más de 30 mm/a fue de aproximadamente 1.637,29 km^2. Se reveló parcialmente que existía una correlación entre los conductos de agua subterránea y las características de distribución espacial de los hundimientos del terreno. Los resultados de la investigación demostraron que era más beneficioso revelar el modelo de respuesta de subsidencia a la variación dinámica de las aguas subterráneas mediante la combinación de las tecnologías convencionales como InSAR, SIG, GPS y otras nuevas, ofreciendo una nueva tecnología para la investigación ambiental e hidrogeológica y una base científica regional para el control de hundimientos del suelo.

Palabras clave subsidencia; canales de depresión de aguas subterráneas; sobreexplotación de aguas subterráneas; InSAR; respuesta a la deformación

1 Introducción

El hundimiento del suelo es una pérdida permanente y no compensable del ambiente y de los recursos, así como un desastre geológico regional, causado también por fallas en el sistema geológico ambiental, sobre el cual una serie de otros desastres ambientales pueden ser inducidos para formar cadenas de desastre. Los resultados de muchos estudios indican que la sobreexplotación del agua subterránea es la principal razón de subsidencia regional (Polonia, 1984; Chen, 2000; Xue, 2003). Gelt (1992) sostiene que la sobreexplotación a largo plazo y a gran escala del agua subterránea es la principal causa de subsidencia, resultando en la disminución significativa del nivel de las aguas subterráneas, en un pobre nivel de agua en los poros de la capa menos permeable del acuífero, y en el acuífero mismo, y la transferencia de estrés que conduce a la deformación en la compactación de arcilla, con el consecuente hundimiento de la tierra. En la actualidad se han realizado nuevos avances en los modelos numéricos y las tecnologías de monitoreo de subsidencia del terreno. Por

ejemplo, las leyes y las tendencias de desarrollo del hundimiento del suelo se han estudiado y previsto a través de investigaciones sobre la relación entre la sobreexplotación de las aguas subterráneas y la deformación de la capa impermeable y de acuíferos causada por las variaciones del nivel del acuífero. Sobre la base de una red de monitoreo de subsidencia con puntos de referencia en el lecho rocoso, estratificados y en la tierra, se combinaron métodos de seguimiento con el desarrollo de las tecnologías GPS e InSAR, proveyendo nuevos métodos técnicos para el monitoreo e investigación de las subsidencias.

En la actualidad han ocurrido casos de subsidencia en 95 ciudades de China. En diversas regiones se han adelantado una serie de estudios locales sobre tecnologías de monitoreo y modelos de subsidencia regional, con resultados prácticos sobresalientes (Li, *et al*., 2004; Gong, *et al*., 2009), y además se ha formado un sistema completo de monitoreo, análisis y predicción.

Beijing es una metrópoli con grave escasez de agua, donde el consumo urbano per cápita de agua es de 248 metros cúbicos, sólo equivalente a 1/8 del nivel nacional y 1/16 del nivel global. En Beijing, 2/3 del agua provienen de aguas subterráneas. La explotación de agua subterránea que conduce a la disminución del nivel freático es un factor clave en la formación y el desarrollo de subsidencias (Jia, et al., 2007). Con los años, el nivel de las aguas subterráneas ha continuado disminuyendo en Beijing. En el centro de la subsidencia regional, el máximo acumulado ha llegado a 1.096 mm, y una parte de la superficie de la tierra se sigue hundiendo a un ritmo anual de 30 a 60 mm.

2 Método

2.1 Área de estudio

Beijing se encuentra entre longitud este 115 ° 25 ‘ - 117 ° 35’ y latitud norte y 39 ° 28 ‘ - 41 ° 05’ (Fig. 1), en la parte norte de la Llanura del Norte de China, que se divide en las montañas del oeste, las montañas del norte y las llanuras del sureste. La distribución estacional de las lluvias en el área de estudio es irregular. Las lluvias de junio a agosto son intensas y concentradas: representan el 70% de la precipitación anual. Entre 1999 y 2006 ocurrió una sequía de ocho años consecutivos en Beijing, con muy pocas lluvias. La precipitación media de cuatro años fue de 459,11 mm, equivalente al 84,2% de la precipitación media anual.

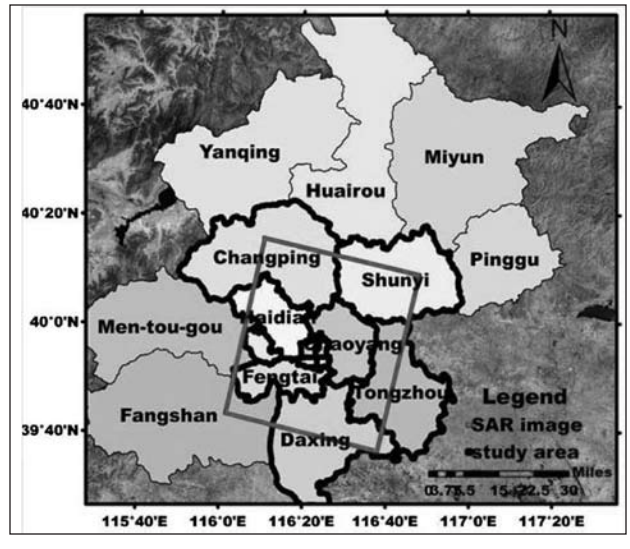


Fig. 1 Ubicación del área de estudio.

2.2 Metodología

A través de la combinación de vigilancia rutinaria, simulación, tecnologías de predicción del sistema de aguas subterráneas, InSAR, GIS y otras tecnologías nuevas, se construyó el campo de datos espaciales. Este campo de datos se desarrolló con base en datos dinámicos de largo plazo provenientes de redes de observación de agua subterránea, datos de exploración adicional, y datos de la red de monitoreo GPS y de satélite SAR. Sobre la base del modelo de acoplamiento entre las variaciones dinámicas de las aguas subterráneas y la respuesta de deformación del suelo por subsidencia, se analizaron sistemáticamente las variaciones dinámicas en canales de agua subterránea de Beijing, al igual que en el proceso evolutivo de la respuesta de hundimiento del suelo (Fig. 2).

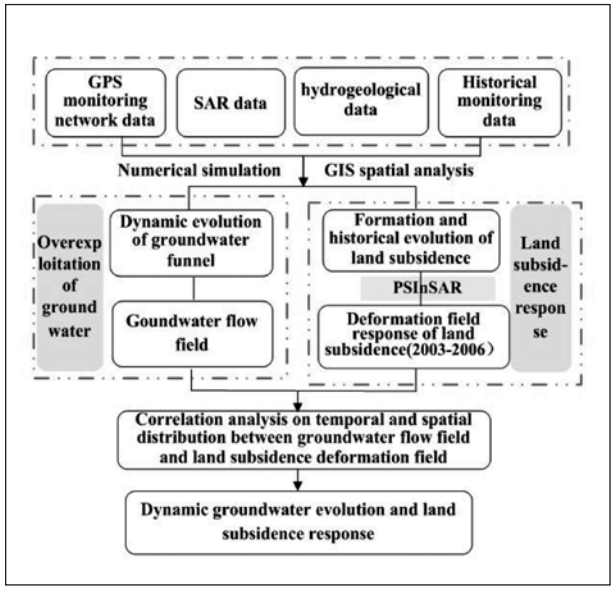


Fig. 2 Diagrama del marco conceptual del modelo.

3 Resultados

3.1 Obtención de series de tiempo de información espacial de subsidencia (2003-2006)

Se seleccionaron series de tiempo típicas de subsidencias en estado de rápido desarrollo en Beijing (2003-2006) a partir de la combinación con la línea base de tránsito, datos obtenidos y otros factores. Además se utilizaron datos de ASAR y SRTM para el procesamiento de interferometría con la nueva tecnología PS-InSAR (Hooper A., *et al*., 2004). A fin de revelar la tendencia de desarrollo temporal y espacial del hundimiento del suelo en áreas de Beijing, se adquirió la información histórica de deformación del terreno por subsidencia para su validación e investigación con la información histórica de subsidencia habitual.

De acuerdo con los resultados del análisis InSAR de deformación a partir de las series de tiempo, el hundimiento del suelo en las áreas de Beijing mostró características tales como fluctuaciones estacionales (Fig. 3 - izquierda), donde los alcances y las amplitudes del hundimiento del suelo en otoño e invierno fueron mayores que aquellos ocurridos en primavera y verano. Por ejemplo (como se resalta en la Fig. 3 - izquierda), la amplitud y el alcance de deformación de la imagen SAR del 14 de enero de 2004 fueron significativamente mayores que los del 7 de julio en el mismo año. Mientras

tanto, los resultados de la investigación mostraron una gran diferencia en la tasa de subsidencia en zonas de Beijing (el valor positivo en rojo indica la subsidencia en la Fig. 3 - derecha) con la tasa de hundimiento máximo de alrededor de 41,0776 mm/a. El área de hundimiento con una tasa superior a 30 mm/a cubrió 1.637,29 km^2 y se distribuyó principalmente en Chaoyang, Shunyi, Changping y el Distrito de Tongzhou. Además, los resultados de deformación provenientes de la serie de tiempo InSAR fueron relativamente consistentes con la tendencia de la información de monitoreo de rutina sobre nivelación (que se resalta en la Fig. 3 - derecha). InSAR, GIS y otras nuevas tecnologías se utilizaron para revelar aún más la tendencia espacial evolutiva del hundimiento de la tierra.

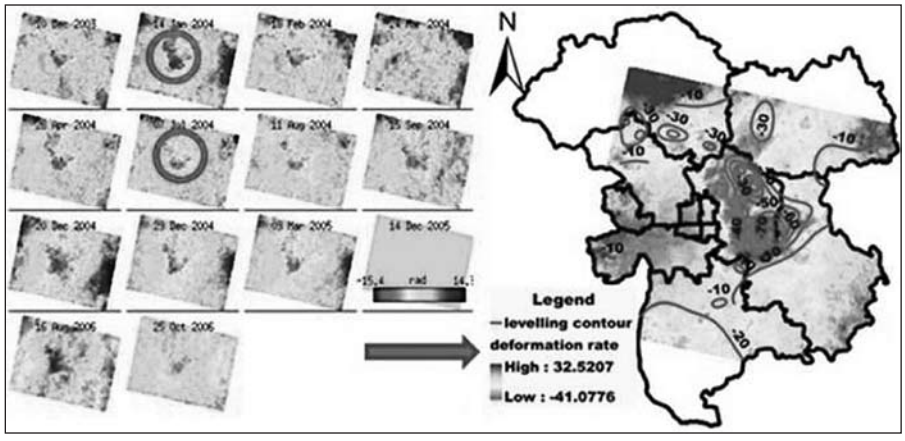


Fig. 3 Resultados de subsidencia de tierra en las áreas de Beijing obtenidos con PS-InSAR (la figura a la izquierda muestra el valor de deformación y la derecha muestra la tasa de deformación).

3.2 Análisis de correlación entre subsidencias y las aguas subterráneas

En combinación con curvas de nivel de agua subterránea (2003-2006) y los resultados de deformación obtenidos mediante PS-InSAR de 2003 a 2006, la correlación entre las tendencias de de respuesta de subsidencias y el campo de flujo de agua subterránea se estudió exhaustivamente (Fig. 4). Se reveló que las subsidencias más graves se produjeron en las áreas con mayores profundidades de agua, sobre todo en Tianzhu del Distrito Shunyi, el Distrito de Chaoyang y el noroeste del Distrito de Tongzhou, lo que pone de manifiesto una buena consistencia entre las variaciones del campo de flujo de agua subterránea en las áreas de Beijing y el proceso de respuesta de hundimiento del terreno.

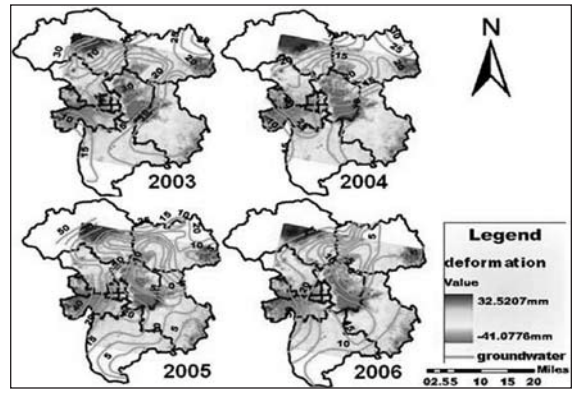


Fig. 4 Contornos de agua subterránea y subsidencia del terreno.

Después de crear un TIN con las curvas de nivel de agua subterránea desde 2003 hasta 2006, se adoptaron operaciones de gráficos raster para la obtención de las variaciones dinámicas de flujo de aguas subterráneas a lo largo de tres años (Fig. 5). Por otra parte, se analizó una tendencia de tres años en el declive del nivel del agua subterránea y se combinó con la tendencia de hundimiento del suelo para un estudio espacial completo. En el análisis también se encontró que los conductos de aguas subterráneas son parcialmente consistentes con la ubicación espacial de zonas de subsidencia (Fig. 5). Los conductos de depresión de aguas subterráneas se distribuyen principalmente en Tianzhu (Distrito de Shunyi) y en el noreste del Distrito de Chaoyang. En los últimos años, el nivel de las aguas subterráneas continuó disminuyendo en estas áreas, con una tasa media de 2,66 m/a, y una tasa máxima de 3,82 m/a en el centro del conducto. Como se puede apreciar en la tendencia de subsidencia en las series de tiempo InSAR (Fig. 4 - derecha), los conductos de subsidencias no sólo se produjeron en Tianzhu (Distrito de Shunyi) y en áreas de Chaoyang, sino también en el Distrito de Tongzhou, con una clara disminución en la tendencia de conductos de subsidencia, y la máxima tasa de subsidencia encontrada en el área de estudio,de 41,0776 mm/a. Se ha demostrado que la explotación de aguas subterráneas en los conductos de subsidencia de Chaoyang se ha reducido hasta cierto punto en los últimos años, y las áreas de explotación concentrada se han extendido hacia los suburbios al noreste, por lo que el alcance de los conductos de subsidencia en Tianzhu - Tongzhou se ha ampliado continuamente.

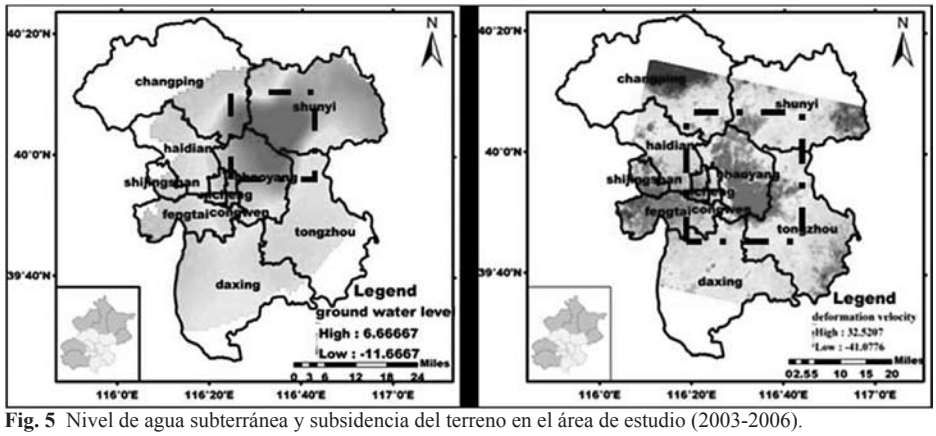


Fig. 5 Nivel de agua subterránea y subsidencia del terreno en el área de estudio (2003-2006).

Afectados por las condiciones hidrogeológicas regionales, el espesor de las capas compresibles, la estructura del estrato, el horizonte de la explotación del agua subterránea y otros factores (Jiao y Qiu, 2006; Jia, *et al*., 2007), el conducto de depresión de las aguas subterráneas bien puede reflejar la situación regional de subsidencias, pero es difícil describir la distribución espacial de los asentamientos con precisión, lo cual es demostrado por la tendencia en los asentamientos y el nivel freático, invertida por la tecnología InSAR (Fig. 5). Por lo tanto, en comparación con la aplicación de la tecnología de simulación numérica para el monitoreo de subsidencias (Shi, *et al*., 2008; Gong, *et al*., 2000), la tecnología InSAR es más adecuada en la adquisición de información a gran escala y alta precisión, al punto de proveer una buena base de datos para el control y el monitoreo de riesgos de subsidencias. En combinación con la función de análisis espacial de la tecnología SIG (Oh y Lee, 2010), se pudo lograr un mejor entendimiento sobre la relación en la distribución temporal y espacial entre la subsidencia y el nivel de las aguas subterráneas, con el fin de proporcionar apoyo a las decisiones para la gestión de explotación de las aguas subterráneas.

4 Conclusiones

Mediante la combinación de redes de monitoreo de aguas subterráneas, datos de redes de monitoreo GPS, datos de radar por satélite SAR, GIS y otras nuevas tecnologías, se estableció el modelo de proceso de acoplamiento basado en la variación dinámica de las aguas subterráneas y la respuesta de la deformación de tierras por subsidencia. Con ello se reveló la evolución espacial y temporal de los conductos de depresión en áreas de Beijing, lo mismo que la tendencia de respuesta espacial a la subsidencia de una escala bidimensional a una tridimensional:

1) Basado en los resultados del monitoreo rutinario histórico en una escala bidimensional y el análisis sistemático sobre el modelo de respuesta de subsidencia a canales de agua subterránea, se dio énfasis a la información de respuesta tridimensional a los campos de deformación del suelo por subsidencia (2003-2006), adquirida con tecnología Persistent Scatterers for SAR Interferometry (PSInSAR). Los resultados mostraron que existen grandes diferencias estacionales e interanuales en los hundimientos de tierra en Beijing, con una distribución espacial y temporal desigual y una tasa de subsidencia máxima de alrededor de 41,0776 mm/a. Las áreas de subsidencia con una tasa superior a 30 mm/a cubren 1,637.29 km^2 y muestran una tendencia de movimiento hacia el este.
2) A partir del análisis comparativo de la información InSAR de respuesta a la deformación de la tierra por subsidencia y de la evolución del campo interanual de corriente del agua subterránea, se encontró que la corriente de agua subterránea es consistente con las características de distribución espacial de los canales de subsidencia, mas no del todo. Se comprobó que a pesar de la ocurrencia del hundimiento del suelo en Beijing como producto de la explotación del agua subterránea, el desarrollo de áreas de subsidencia también está relacionado con las condiciones hidrogeológicas, las estructuras de estrato y otros aspectos. Se requiere llevar a cabo más estudios a profundidad sobre estos temas.

Agradecimientos

Se agradece a Andy Hooper por su apoyo en relación con la información técnica sobre StamPS y el procesamiento de datos. La investigación ha sido financiada por: Program of International S&T Cooperation (No. 2010DFA92400), el Non-profit Industry Financial Program of MWR (No. 200901091), y la Natural Science Foundation of Beijing (No. 8101002).

REFERENCIAS

Beijing Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Hydrogeology and Engineering Geology Team in Beijing. (2008) *Ground water in Beijing*. Land Press of China.

Chen chongxi. (2000) Thinking on land subsidence caused by groundwater exploitation. *Hydrogeology And Engineering Geology* 1: 45-60.

Gelt J. (1992) Land subsidence, earth fissures, change Arizona's landscape. *Arroyo* 6 (2): 7–15.

Gong Huili, Li Menlou, Hu Xinli. (2000) Management of Groundwater Resources in Zhengzhou City, China. *Water Research* 34 (1): 57-62.

Gong Huili, Zhang Youquan, Li Xiaojuan, *et al*. (2009) The Research of Land subsidence in Beijing Based on Permanent Scatterers interferometric synthetic aperture radar (PS-InSAR) technique. *Progress in Natural Science* 19 (11): 1261-1266.

Hooper. A, Zebker. H, Segall. P, *et al*. (2004) A new method for measuring information on volcanoes and other natural terrains using insar persistent scatterers. *Geophys Re Lett* 31 (23): 5.

Jia Sanman, *et al*. (2007) The Impacts of Land Subsidence on Urban Construction in Beijing. *Geological Hazards* 2 (4): 19-23.

Jia Sanman, Wang Haigang, Zhao Shousheng, *et al*. (2007) A Tentative Study of the Mechanism of Land Subsidence in

Beijing. *City Geology* 2 (1): 20-26.
Jiao Qing, Qiu Zehua. (2006) Research Progress of Major Active Faults in Beijing Plain Area. *Institute of Crustal Dynamics, CEA* 18: 72-84.
Li Deren, liao Mingsheng, Wang Yan. (2004) Progress of Permanent Scatterer Interferometry. *Editorial Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University* 29 (8): 664-668.
Oh H, y Lee S. (2010) Assessment of land subsidence using GIS and the weights-of-evidence model. *Engineering Geology* 115 (1-2): 36-48.
Poland, J. F., ed. (1984) Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal [J]: Paris, France, UNESCO *Studies and Reports in Hydrology*, 305 p.
Shi X, Wu J, Ye S, Zhang Y, *et al*. (2008) Regional land subsidence simulation in Su-Xi-Chang area and Shanghai City, China. *Engineering Geology* 100 (1-2): 27-42.
Wang Ping. (2004) Study on Land Subsidence Caused by Overexploiting Groundwater in Beijing. *Site Investigation Science and Technology* 5: 46-49.
Xue Yuqun, Zhang Yun, Ye Shujun, Li Qinfen. (2003) Land subsidence in china and its problems. *Quaternary Sciences* 23 (6): 585-593.

Nuevas tecnologías de la información para la gestión sostenible del agua: ¿una solución para hacer frente a los cambios globales?

BEATRICE MOSELLO
Instituto de Altos Estudios Internacionales y del Desarrollo, Ginebra, Suiza
beatrice.mosello@graduateinstitute.ch

Resumen Las nuevas tecnologías de la información han influido claramente sobre las políticas y las estrategias de toma de decisiones en un número de áreas diferentes y para todos los actores a nivel internacional, regional, nacional y local. Esto es particularmente cierto cuando se trata de temas ambientales, en donde la capacidad de actuar y adaptarse de manera efectiva depende precisamente de la calidad y credibilidad de información obtenida. En esta línea, vamos a analizar las formas en que las nuevas tecnologías de hoy sirven de apoyo a los sistemas en el área de la gestión integrada de ríos, fusionando así los ecosistemas fluviales y las necesidades de energía hidroeléctrica mediante la combinación de herramientas científicas disponibles con las especificaciones locales y los requerimientos operativos. Específicamente, tomaremos el caso del Valle de Aosta, una región alpina típica en donde los problemas vinculados a la producción sostenible y el uso de la energía hidroeléctrica representan un reto difícil e inevitable para los tomadores de decisiones locales responsables de los recursos hídricos. En esta región, el proyecto de Energía Hidráulica Sostenible en Ecosistemas Fluviales Alpinos (SHARE, por sus siglas en inglés) se ha llevado a cabo durante los últimos tres años, con el fin de producir software y herramientas de Internet, más un conjunto de normas de vigilancia e indicadores generalmente comparables y aplicables, para informar sobre las mejores prácticas a los tomadores de decisiones sobre cómo manejar eficazmente los recursos hídricos, en vista de los impactos de los pronosticados cambios climáticos. Nuestro análisis lleva a la conclusión de que las nuevas tecnologías pueden ciertamente informar en la toma de decisiones y en formulación de políticas sobre la gestión de recursos hídricos, así como sobre otros asuntos relacionados con el ambiente, de tal manera que se garantice su capacidad de adaptación frente a los cambios climáticos y socio-económicos. Adicionalmente, contribuyen a la formación de asociaciones y redes entre las partes interesadas, que se extienden a través diferentes niveles de acción, lo que aumenta la participación y la cooperación hacia una meta común.

Monitoreo satelital del Lago Atitlán en Guatemala

BETZY HERNANDEZ[1], AFRICA FLORES[2], BESSY GARCIA[1], ANTONIO CLEMENTE[1], MIROSLAVA MORÁN[1], EMIL CHERRINGTON[1], MARCELO OYUELA[1], OCTAVIO SMITH[1], Y JOSÉ MARIA GUARDIA[1]

1 Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), Ciudad del Saber, Panamá
betzy.hernandez@cathalac.org

2 Departamento de Ciencias Atmosféricas, University of Alabama in Huntsville, EEUU

Resumen El uso intensivo de la cuenca del Lago Atitlán de Guatemala ha provocado niveles alarmantes de contaminación. En octubre del 2009, un afloramiento masivo de fitoplancton en el lago motivó al Ministerio de Medio Ambiente de Guatemala (MARN) acercarse al Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) buscando asesoría técnica. En respuesta a la solicitud del MARN, y en el contexto del Sistema Regional de Visualización y Monitoreo SERVIR, conjuntamente implementado por CATHALAC, NASA, USAID y otros socios, imágenes satelitales de los sensores ALI, ASTER, e Hyperion fueron capturadas para el monitoreo del lago. Los análisis utilizando dichas imágenes fueron desarrollados periódicamente desde octubre hasta diciembre del 2009, y fueron facilitados al MARN (y publicados en www.servir.net). De acuerdo con los datos satelitales, los resultados iniciales mostraban un área cubierta de 617 hectáreas, equivalente a 5% de la superficie del lago, el punto máximo de contaminación fue observado el 22 de noviembre, cuando estaba cubierta aproximadamente el 38% de la superficie del lago. Posteriormente, el afloramiento disminuyó gradualmente hasta haber prácticamente desaparecido para el mes de diciembre del mismo año. Adicionalmente al monitoreo satelital del Lago Atitlán, otro análisis realizado en la cuenca del lago permitió localizar áreas con alta exposición de suelo, susceptibles a ser erosionadas por la lluvia. Las descargas de sedimento fueron evidentes principalmente en los ríos Panajachel y Quiscab. Las técnicas de teledetección también evidenciaron la disminución de la superficie del lago durante la época seca en 2,92 km^2, en un periodo de 21 años. Esta disminución pudo deberse probablemente a los deslizamientos durante eventos como el Huracan Stan de 2005. El apoyo de CATHALAC a Guatemala también incluyó capacitaciones a representantes del ministerio de ambiente y a las autoridades de lagos del país, para integrar técnicas de teledetección y monitoreo ambiental. La información generada en este proceso es utilizada para los procesos de recuperación del lago, y para mantener informado al público sobre lo que ocurre en este valioso recurso natural.

Palabras clave Cianobacteria; clorofila; monitoreo; teledetección; Atitlán; Guatemala

1 Introducción

El Lago Atitlán está ubicado en el Departamento de Sololá; al Oeste de la Ciudad de Guatemala. Está situado en una antigua caldera volcánica; limitado por profundos escarpes al norte y este y por tres volcanes en la parte suroccidental. El lago se asienta en una cuenca endorreica de 541 km^2; es decir, no cuenta con una salida superficial de agua. El carácter endorreico de la cuenca acentúa la concentración de contaminantes, sedimentos y materiales arrastrados, los cuales se van acumulando dentro del lago. La gestión de las tierras dentro de la cuenca es por lo tanto crítica y determinante para la salud del lago.

El lago constituye un recurso natural muy importante para el turismo en Guatemala; a su alrededor se alojan poblaciones que suman más de 200 mil habitantes. Desde hace años, la actividad humana dentro de la cuenca del lago ha venido impactando en forma negativa la función del mismo. Uno de los impactos más importantes se debe a que los municipios cercanos vierten sus aguas servidas directamente al lago.

La agricultura intensiva propicia la erosión, el arrastre de sedimentos, e inclusive disminuye la capacidad de infiltración del agua en los acuíferos (Kogio, 1995). El estudio de Kogio (1995) señaló que el porcentaje de infiltración en el Altiplano Central se ha reducido debido al cambio de uso de

suelo, puesto que la mayor parte del área de captación ha sido utilizada para fines agrícolas.

Las presiones ejercidas sobre el lago y su cuenca han provocado niveles de deterioro de la calidad del agua que llegaron a alarmar a las autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) del país. En el año 2009, un afloramiento masivo de fitoplancton motivó al MARN acercarse al Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) buscando asesoría técnica para analizar el problema de contaminación del lago y contar con un monitoreo satelital constante para este recurso estratégico de Guatemala.

2 Objetivo del estudio

Brindar asesoría al Ministerio de Medio Ambiente de Guatemala respecto al grado de contaminación del Lago Atitlán y ofrecer monitoreo satelital de la calidad del cuerpo de agua.

3 Metodología

Análisis del nivel de clorofila en el lago

En el contexto del Sistema Regional de Visualización y Monitoreo (SERVIR), y en seguimiento a la solicitud del MARN, CATHALAC inició el análisis y monitoreo satelital constante del lago en octubre de 2009. Para este monitoreo fueron facilitadas imágenes de los sensores Advanced Land Imager (ALI), ASTER, Enhanced Thematic Mapper+ (ETM+) e Hyperion, para estudiar el afloramiento del fitoplancton. Las imágenes permitieron el análisis de la evolución de la contaminación en la superficie del lago, a través de técnicas de percepción remota basada principalmente en la detección de la clorofila generada por las cianobacterias por su actividad fotosintética. Las imágenes ASTER utilizadas también permitieron el estudio de la actividad fotosintética a través del calor emitido por las cianobacterias.

Aunque lo que se identifica como altas concentraciones de clorofila puede indicar la presencia de algas, bacterias, zooplancton y hongos, un trabajo inicial en campo indicó la presencia de cianobacterias particularmente. La identificación de la cianobacteria específica es un tema de continuo análisis y trabajo de campo. El monitoreo satelital de la contaminación realizado por CATHALAC para la floración del 2009 fue complementado con investigación de campo realizada por la Universidad del Valle de Guatemala y la Universidad de Califonia en Davis (Rejmánková, *et al*., 2011, en imprenta). El trabajo conjunto entre CATHALAC y estas entidades académicas logró proveer información sobre la magnitud del área afectada. Para Guatemala, este fue el primer análisis utilizando imágenes satelitales para detectar contaminación en cuerpos de agua.

Las técnicas utilizadas para estimar la clorofila en el Lago Atitlán se basaron en las características ópticas de este pigmento. Usualmente, la medición de la concentración de clorofila es utilizada para estimar la cantidad de algas en la superficie del agua. Las altas concentraciones de algas pueden ocasionar bajos niveles de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua, lo que puede contribuir a la eutrofización del lago.

La presencia de clorofila en los cuerpos de agua cambia la reflectancia normal del agua, como se visualiza en la Fig. 1. La reflectancia de cuerpos de agua cargados con algas aumenta significativamente en otra longitud de onda, a diferencia del agua sin algas.

El aumento en la cantidad de clorofila está asociado con la disminución en la cantidad relativa de energía en la banda azul del espectro electromagnético (0,45 – 0,52 μm) y el aumento en la banda verde del mismo (0,52 – 0,60 μm) (Han, 1997; Gitelson, 1992).

Diferentes índices son utilizados para identificar clorofila en el agua. Por ejemplo, de acuerdo

a Jensen (2007), bajas concentraciones de clorofila pueden ser identificadas a través del cociente generado por la banda del infrarrojo cercano y la banda roja: Infrarrojo cercano (705 nm) / Rojo (670 nm). De acuerdo con el mismo autor (Jensen, 2007), altas concentraciones de clorofila reflejan más alrededor de los 690 -700 nm (banda roja del espectro).

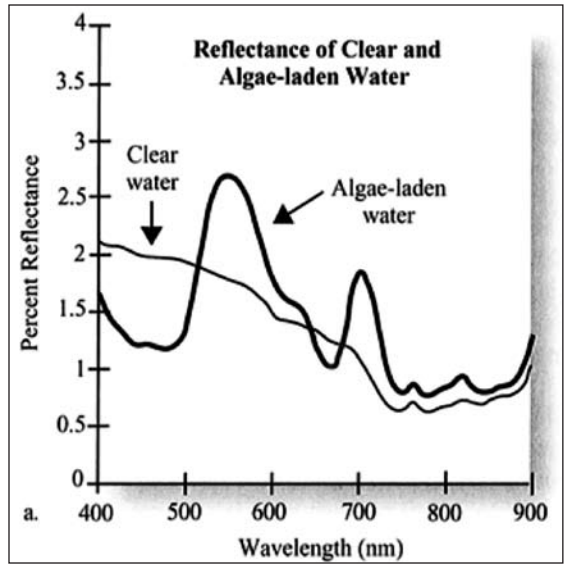


Fig. 1 Porcentaje de reflectancia de agua limpia y agua cargada con algas basado en mediciones con espectro radiómetro in situ. Fuente: Jensen, 2007.

Otro Índice utilizado a menudo para la identificación de clorofila es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, en inglés). El NDVI se basa en el hecho que la clorofila absorbe energía en la banda roja o porción roja del espectro, mientras que la estructura mesófila de la planta muestra dispersión en el espectro infrarrojo (Myneni, *et al*., 1995; Pettorelli, 2005).

La fórmula del NDVI es: NDVI= [NIR-RED] / [NIR + RED] Donde: NDVI = Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index), NIR = luz infrarroja cercano (Near-Infrared), RED = luz roja (Red). Los análisis facilitados al MARN se basaron en el índice de vegetación NDVI que detecta la presencia de clorofila, aunque por ser una evaluación rápida, los análisis no permitieron la verificación en campo.

Estimación de la concentración de sedimentos

Así como en el caso de la clorofila, los sedimentos pueden ser identificados a través de la teledetección. El monitoreo de los procesos de erosión que generan sedimentos es crucial debido a que la acumulación de sedimentos en los cuerpos de agua contribuye a su eutrofización. Los sedimentos también arrastran con ellos pesticidas, fósforo, nitrógeno y compuestos orgánicos. Como en el caso de la clorofila, es difícil identificar las concentraciones cuantitativas de los sedimentos utilizando solamente teledetección; sin embargo, si es posible identificar su punto de descarga y determinar la dispersión general de sus plumas de sedimentos.

De acuerdo a Jensen (2007), las características de reflectancia de los sedimentos en el agua tienen valores más elevados en las longitudes de las bandas visibles. Varios estudios apoyan la teoría de la determinación de sedimentos utilizando las bandas visibles. Como ejemplo podemos mencionar el estudio realizado por Miller & McKee (2004) (Fig. 5), donde la utilización de la banda

1 del Espectro-radiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (Moderate Resolution Imaging Spectroradimeter-MODIS) permitió una correlación linear bastante robusta ($R^2 = 0,89$) con respecto a las mediciones *in situ* de sólidos totales suspendidos (los sedimentos).

Análisis de cambios en la cuenca del Lago Atitlán

Además del análisis de la contaminación del lago, se analizaron los cambios en el uso de suelo de la cuenca. Este análisis se realizó usando imágenes de alta resolución WorldView-2 (WV-2) del año 2010 (estas imágenes fueron facilitadas por GeoSolutions Consulting, Inc., distribuidor regional de productos de DigitalGlobe, Inc., bajo el contexto de SERVIR) y se compararon con orto-fotografías del año 2006, que proporcionó el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) de Guatemala. A través de técnicas de teledetección se buscaron las áreas con alta exposición de suelo, susceptibles a ser arrastrados al lago por la lluvia.

Determinación de la extensión del cuerpo de agua

El cambio en la extensión de la superficie del lago se evaluó a través de la comparación de las imágenes WV-2 de 2010 con las imágenes Landsat de 1989. La identificación de la extensión del cuerpo de agua *per se*, mediante sensores remotos, al igual que con las otras variables, se basa en identificar el espectro que mejor represente este tipo de cobertura. La extensión del agua se determinó con las imágenes usando bandas en el espectro infrarrojo cercano (~850 – 900 nm), donde se puede identificar el mayor contraste entre la reflectancia del agua y la cobertura terrestre (Rudorff, 2007). Identificar la extensión del cuerpo de agua era importante para evaluar los cambios temporales del espejo de agua, y así estimar tendencias.

4 Resultados

Análisis del nivel de clorofila en el lago

La proliferación de clorofila en la superficie del Lago Atitlán comenzó a analizarse a fines de octubre del 2009. En ese momento, el análisis de las imágenes satelitales detectaba que el afloramiento cubría aproximadamente 617 hectáreas, equivalente al 5% de la superficie total del lago. El monitoreo de clorofila continuó, y a principios de noviembre, la actividad fotosintética de la superficie del lago era equivalente a 4.410 hectáreas, cubriendo un 36%. El punto máximo de contaminación fue identificado el 22 de noviembre, donde la clorofila en el lago cubría 4.753 hectáreas, aproximadamente el 38% de la superficie del lago. Posteriormente, la proliferación fue disminuyendo paulatinamente, hasta llegar a niveles de 0% de cobertura en diciembre del mismo año.

Los análisis de campo lograron comprobar que la floración se causaba principalmente por la Cianobacteria *Lyngbya hieronymusii* (Dix, 2009).

Cambios de uso de suelo y estimación de sedimentos

La comparación de imágenes satelitales de la cuenca del lago logró mostrar cambios en un período de 21 años. Se identificaron reubicación de infraestructuras, expansión de áreas urbanas y expansión de la red vial. Las técnicas de teledetección permitieron localizar áreas con alta exposición de suelo, que en épocas de lluvia son susceptibles a la erosión, provocando descargas de sedimento y materia orgánica en el lago. Esta descarga de sedimentos fue evidente principalmente en los ríos Panajachel y Quiscab.

El análisis realizado con imágenes satelitales mostró la disminución de 2,92 km^2 de la superficie del lago, en un periodo de 21 años. Esta disminución de la superficie del lago podría deberse a la intrusión de suelo dentro del lago por arrastre de sedimento de los ríos, por deslizamientos, o posiblemente también por procesos de eutrofización y variaciones en el nivel del lago. Por ejemplo, en el norte del Lago Atitlán, se sabe que deslizamientos causados durante el Huracán Stan en el 2005 disminuyeron parte de la superficie del lago.

Fortalecimiento de capacidades y uso de la información

Como parte del trabajo realizado, se capacitó a personal del MARN y de la autoridad de gestión del Lago Atitlán, para que pudieran hacer un monitoreo satelital, no sólo del Lago Atitlán, sino de otros cuerpos de agua del país, utilizando imágenes disponibles gratuitas y adquiridas periódicamente, como Landsat, así como las imágenes ASTER, que pueden ser facilitadas sin costo dentro del contexto del proyecto SERVIR.

Las instituciones gubernamentales de Guatemala, las agencias de cooperación internacional y los medios de comunicación nacional han utilizado la información generada por CATHALAC para mantener informado al pueblo guatemalteco e iniciar procesos de recuperación del Lago Atitlán.

5 Futuras investigaciones

Como extensión de estas iniciativas, el MARN y CATHALAC recientemente firmaron un convenio con el fin de desarrollar actividades de investigación aplicada, educación y transferencia de tecnología en áreas de interés.

Adicionalmente, el equipo especialista de CATHALAC actualmente está trabajando para afinar la firma espectral de la cianobacteria, experimentando con sensores hiperespectrales, para ayudar a la futura detección del afloramiento de la misma.

REFERENCIAS

Aranoff, S. (2005) *Remote Sensing for GIS Managers*. First Edition. ESRI Press. 487 pp.

Dix, M. (2009) *Estudios Ecológicos: El lago de Atitlán, Antes y Ahora*. Presentación, Universidad del Valle de Guatemala. www.savelakeatitlan.org/images/Dix-New%20lago0ct09.pdf.

Gitelson, A.A., (1992) The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration, *International Journal of Remote Sensing*, 13:3367-3373.

Han, Luoheng. 1997. Spectral Reflectance with Varying Suspended Sediment Concentrations in Clear and Algae-Laden Waters, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 63, No. 6, pp 701-705.

Jensen, J.R. (2007) *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Second Edition. Prentice Hall. 592 pp.

Kogyo Kokusai Co. (1995) *Estudio sobre el desarrollo de las aguas subterráneas en el altiplano central de la República de Guatemala*. JICA. INFOM. 390 pp

Miller, R. L. y McKee, B. A. (2004) Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters, *Rem. Sens. Environ*. 93: 259-266.

Myneni, R.B. *et al*. (1995) The interpretation of spectral vegetation indexes, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens*. 33, 481–486.

Pettorelli, N. *et al*. (2005) Using the satellite-derived NDVI to asses ecological responses to environmental change, *Trends in Ecology and Evolution*. Vol. 20 No. 9 p. 504-510.

Rejmánková, E., Komárek, J., Dix, M., Komárková, J., y Girón, N. (2011) Cyanobacterial blooms in Lake Atitlan, Guatemala, *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*. doi: 10.1016/j.limno.2010.12.003. En imprenta.

Rudorff, CM., Novo, ELM., Galváo, LS., y Pereira, FILHO, W. (2007) Derivative analysis of hyperspectral data measured at field and orbital level to characterize the composition of optically complex waters in Amazon, *Acta Amazon*.Vol. 37, no.2, p. 269-280.

Lecciones aprendidas sobre la gestión integrada de microcuencas en las cuencas asociadas al Volcán Tacaná (México y Guatemala): El caso de Guatemala

CARLOS ROSAL Y OTTONIEL RIVERA
UICN Mesoamérica e Iniciativa Caribe
carlos.rosal@iucn.org

Resumen Las cuencas asociadas al Volcán Tacaná comprenden una zona fronteriza entre México y Guatemala. El área comprende las cuencas de los ríos Suchiate, Coatán, Cahoacán and Cosalapa en México y las cuencas de los ríos Suchiate y Coatán en el territorio guatemalteco. Dada su geemorfología, las cuencas asociadas al volcán Tacaná concentran fácilmente el agua de lluvia lo cual trae como consecuencia flujos masivos de agua que provocan inundaciones y deslaves en las partes media y baja de las cuencas, produciendo serios impactos a las economías locales, regionales y nacionales. En esta región, aunque existen grandes extensiones de plantaciones de café que se están transformando en café orgánico, en general en las partes superiores de la cuenca, la pobreza es alta, especialmente en el lado guatemalteco, donde se estima que el 53% de la población sobrevive con menos de US$2.00 por día. El departamento de San Marcos es uno de los más pobres en Guatemala. De acuerdo con el Estudio de Medios de Vida en Guatemala (FAO-SESAN, 2009), las municipalidades de Tacaná, Ixchiguán, San José Ojetenám y Sibinal están localizadas en el área de agricultura de subsistencia, con altos niveles de pobreza extrema. Las partes altas de las cuencas de los ríos Suchiate y Coatán son muy vulnerables a efectos de cambio climático. El Huracán Stán, en 2005, destruyó el área, exponiendo su vulnerabilidad social, económica y ambiental. Durante más de 6 años, la UICN ha acumulado experiencia en la región en el tema de optimización de beneficios que el agua provee, la gestión de suelos y ecosistemas, los diagnósticos participativos de los efectos del cambio climático sobre los medios de vida, la implementación de medidas de abastecimiento y saneamiento del agua orientados a reducir las enfermedades gastrointestinales (junto con otros socios) y el uso de tecnologías para proteger las áreas de recarga acuífera y el fortalecimiento de capacidades. A través de un extenso y estratégico proceso basado en estructuras de gobernanza existentes (Ley de Consejos de Desarrollo), la UICN ha logrado la consolidación de 14 consejos de microcuenca con la participación de múltiples actores, el establecimiento de una metodología para poner en marcha planes de manejo de microcuencas y el inicio en sus estados tempranos de dos fondos participativos de gestión hídrica. La UICN también ha logrado interesar al Ministerio de Agricultura en la aplicación de nuevas prácticas agrícolas enfocadas en microcuencas, lo cual refleja un nuevo esquema de desarrollo rural. Este nuevo modelo de planificación y manejo comunitarios puede ser replicado en otras microcuencas.

Palabras clave microcuenca; consejos de microcuenca; gobernanza del agua; enfoque de ecosistemas; adaptación al cambio climático

Nueva pedagogía ecosistémica y compleja para la sostenibilidad del agua

EMILIO A. MESSINA G.
División de Ambiente, Autoridad del Canal de Panamá (ACP), Panamá
emessina@pancanal.com

Resumen El presente artículo parte del análisis del estado del ambiente mundial, regional y nacional, reconociendo la crisis ambiental expresada en la degradación ambiental. Propone además que esta crisis es el resultado del paradigma mecanicista de las ciencias, cuyo modelo pedagógico positivista ha sido insuficiente en la modificación de patrones de producción y de consumo que degradan los elementos de la naturaleza. Por la insuficiencia expresada, inferimos que la crisis ambiental se genera por la ausencia de un enfoque que gestione el conocimiento de forma integrada, produciendo así analfabetismo ecológico. El analfabetismo ecológico es entendido como la incapacidad del ser humano de trabajar con los límites de la naturaleza, y como la expresión del agotamiento del paradigma empírico-analítico que promueve concepciones lineales del mundo. En contraposición, desarrollamos un paradigma alternativo desde las concepciones de la complejidad ambiental y el pensamiento ecosistémico, sobre las cuales diseñamos las bases conceptuales de un modelo de educación ambiental ecosistémico y complejo de corte hermenéutico. Este modelo permite avanzar el conocimiento al identificar que el pensamiento y los valores del paradigma ecosistémico y complejo no pueden enfrentar la crisis ambiental si estos se apoyan en los modelos pedagógicos positivistas, por ser reduccionistas y fragmentados; *contrario sensu,* la pedagogía hermenéutica es la plataforma sobre la cual es posible implementar, tanto el pensamiento como los valores, del paradigma ecosistémico y complejo. Esta nueva pedagogía permitirá enfrentar la crisis ambiental en la que está envuelta la humanidad.

Signado por situaciones y problemas inéditos, el mundo se debate entre enfoques complejos e integrativos y pensamientos fácticos, demostrativos y lineales, aclarando que todo enfoque cognitivo que coloque su énfasis en la parte es considerado mecanicista, y el que coloca su énfasis en el todo es considerado holístico.

La crisis ambiental es el producto de un desconocimiento, o de la insuficiencia de la gestión del mismo, que ha sido denominado *analfabetismo ecológico*.[1] Sin embargo, esta condición no se produce por sí misma, sino que es la expresión del agotamiento de un paradigma empírico-analítico que promueve concepciones mecanicistas y lineales del mundo, que pretende ser parte del problema y la solución al mismo tiempo. Esta imposición como paradigma dominante ha dejado en lugares marginales otras concepciones como la ecosistémica-compleja, la histórico-hermenéutica y la crítico-social, las cuales representan paradigmas alternativos con capacidad de explicar, comprender y promover valores más allá de la pura cuantificación, medición y verificación.

Esta concepción del mundo se sustenta en valores asertivos y formas de pensamiento individual y expansionista, razón por la cual los valores y formas de pensamiento de los paradigmas alternativos, como lo son las formas integracionistas, holísticas y cooperativas, son estrictamente marginadas. Las mismas son capaces de permear la visión del desarrollo humano, la cual está fundamentada en concepciones de crecimiento económico que privilegian modelos de producción y consumo que resultan insostenibles. Esto es evidenciado en el indicador denominado huella ecológica, el cual identifica un agotamiento y una sobreexplotación del planeta en un 30%, por encima de su capacidad regeneradora, lo que es una expresión de objetivos conflictivos del desarrollo humano sostenible, que privilegian el armonizar el crecimiento económico, la equidad social y la sostenibilidad ambiental,

1 Término acuñado por el Dr. Rodrigo Tarté en las jornadas de discusión del proyecto: *gestión del conocimiento y salud*, que la ACP realiza con la Universidad del Sur de la Florida y el Centro Internacional para el Desarrollo Sostenible (CIDES). 2010.

e impide la identificación de la integralidad del ser humano dentro del entramado de interacciones que sostiene, consciente e inconsciente, con el mundo del cual forma una parte constitutiva.

Desde esta perspectiva entendemos que todo lo esencial se oculta tras la apariencia del fenómeno, y que solo a través de una aproximación interdisciplinar podemos conocer lo esencial de este, que no es perceptible directamente. Así, existe un sesgo por la visión mecánica del mundo, que separa, aísla y relega el conjunto de entramados que constituyen las múltiples dimensiones de la vida, y que es descrito en la narrativa del presente trabajo, bajo una concepción que denominamos ecosistémica. Así acotamos que los ecosistemas contienen mensajes transformadores sobre el deber ser de las sociedades humanas, que nos darían lecciones ejemplares sobre comunicación, intercambio de información, límites, flexibilidad, adaptación y organización, bajo una concepción holística de la vida, que está más que ausente en la pedagogía del mundo actual y en los valores que le son constitutivos. A este respecto, tanto las sociedades humanas como las sociedades naturales, son concebidas como mundos paralelos y no en interconexión e interrelación, como lo propone nuestra perspectiva ecosistémica. Así, los ecosistemas, pueden ser considerados escuelas naturales que nos enseñan valores integradores, conservacionistas, de calidad y cooperación, ausentes en los sistemas humanos, y que están disponibles para ser conocidos y aprender de ellos.

A *contrario sensu*, en las sociedades humanas encontramos la antítesis de estas escuelas naturales, expresadas en una racionalidad moderna que incorpora los elementos de la naturaleza dentro de una lógica perversa que los objetiva y explota por encima de sus límites, y que en adición, la utiliza (la naturaleza) como un vertedero de los desechos que este proceso de explotación genera. Esta mirada produce un creciente agotamiento de la bio-capacidad productiva de la tierra, donde las formas de trabajo socialmente organizadas promueven patrones de producción y consumo que requieren un uso intensivo de los elementos de la naturaleza y por consecuencia, insostenible. Esta racionalización de la naturaleza entiende que lo verde está mejor representado en el papel moneda que en el ecosistema. A este respecto, Worster (2004), planteaba que:

> "Quien haya decidido que los billetes de dólar fueran verdes tuvo un instinto acertado. Existe una conexión profunda y aun así fácil de ignorar entre el dinero de nuestro bolsillo y la verde tierra. Aun ese vínculo excede el mero color. El billete de dólar necesita el papel, que es tanto como decir que requiere de árboles. De igual modo, toda nuestra riqueza deriva de la naturaleza: del bosque, la tierra, las aguas y el suelo. Es fácil percibir que esos recursos son limitados y finitos. Lo mismo debería ocurrir con la riqueza: esta nunca es ilimitada, aunque pueda se expandida y multiplicada por el ingenio humano. En alguna parte del billete de dólar se advierte que lo que se tiene en la mano es parte de una tierra limitada, que debe ser tratada con respeto" (p.109).

Lo señalado por Worster no es más que la expresión de la crisis ecosistémica que produce lo que denominamos analfabetismo ecológico. Esta categorización nos exige atender con prontitud los antivalores de la racionalidad productiva y de los patrones de consumo que fomentan un individualismo y una relación contra la naturaleza y no con ella. Hardin (1968), cuando escribía *La Tragedia de los Comunes,* haciendo referencia a la libertad y la responsabilidad de las personas con las cosas que nos pertenecen a todos, definió como dilema principal una situación en la cual varios individuos, motivados solo por el interés personal y actuando independiente pero racionalmente, terminan por destruir un recurso compartido y limitado que llamó *el bien común.* Así dice: "si yo no lo hago, otro lo hará".

Colegimos entonces que en la trama de la vida, es decir, en el análisis del conjunto, hemos olvidado que lo que le hacemos a la trama nos lo hacemos a nosotros mismos. Este hedonismo

exacerbado encuentra su respaldo en un orden establecido y aceptado por la comunidad internacional, que se denomina paradigma. El paradigma que sustenta la visión mecánica del mundo se denomina empírico-analítico. Su referente en el contexto actual e histórico lo define como una corriente o escuela filosófica que afirma que el único conocimiento auténtico es el conocimiento científico, y que tal conocimiento solamente puede surgir de la afirmación positiva de las teorías a través del método científico.

El positivismo deriva de la epistemología que surge en Francia a inicios del siglo XIX, de la mano del pensador francés Augusto Comte (1838) y del británico John Stuart Mill, y se extiende y desarrolla por el resto de Europa en la segunda mitad de dicho siglo. Según esta escuela, todas las actividades filosóficas y científicas deben efectuarse únicamente en el marco del análisis de los hechos reales verificados por la experiencia. Estas concepciones positivistas y neopositivistas (ver Tabla 1) se caracterizan por un conocimiento cuantitativo, ahistórico, fragmentado y atomizado del conocimiento, desdibujando el proceso vital humano por una razón básica, esto es, para que una condición pueda ser denominada conocimiento debe ser susceptible a medición, cuantificación, verificación, lo contrario queda excluido y marginado.

Tabla 1 Los contrastes entre las concepciones positivistas y neopositivistas

POSITIVISTAS	NEOPOSITIVISTAS
• Monismo metodológico. • La explicación científica es única, solo hay un método científico, que se corresponde con el método deductivo físico matemático • La explicación es causal y basada en leyes generales hipotéticas • El conocimiento científico debe ser capaz de predecir, controlar y dominar la naturaleza • Es el llamado método de las Ciencias de la Naturaleza el que se opone a reconocer como ciencias a las ciencias sociales	• Principio de Verificación • Solo tienen sentido las proposiciones que se puedan verificar empíricamente a través de los hechos que nos ofrece la experiencia y la lógica • Sólo es científico aquel análisis de la realidad que trabaja con la Teoría Lógico-Matemática y la verificación empírica mediante la experimentación • En la Ciencia todo debe ser sometido a la observación directa y a comprobación mediante la experimentación • Gran parte del conocimiento de las Ciencias Sociales no es Ciencia

Fuente: Universidad Especializada de las Américas. Apuntes de doctorado. Panamá, 2008.

El paradigma empírico-analítico y su pedagogía reduccionista están en crisis. Como uno de los paradigmas de las ciencias fácticas, hoy reconocemos sus aportes al bienestar y progreso humano; no obstante, la evidencia devela su insuficiencia para detener los profundos desequilibrios en el sistema natural y social, que *contrario sensu* a su intención, su hegemonía se ha vuelto parte fundamental del problema, con capacidad, además, de convertir un bien en un mal y a la mentira llamarla verdad, tanto como de hacer una guerra para obtener la paz. Con esto no podemos desconocer el aporte de las ciencias a la idea de progreso humano, pero sí podemos afirmar que la razón instrumental y tecnológica desnaturaliza y deshumaniza, siendo el hombre victimario y víctima al mismo tiempo.

Desde esta idea distorsionada de progreso, bajo la cual el conocimiento puede ser utilizado de diversas formas, Worster (2004), al hacer referencia al uso de la energía atómica e inicio de la llamada *Era Ecológica*, sostiene el contrasentido de los aportes del paradigma de las ciencias develado en la siguiente cita:

> "Mientras aquella primera bomba de fisión nuclear estallaba y el color del cielo al amanecer cambiaba bruscamente de azul pálido a un blanco segador, el físico y director del proyecto, Robert Oppenheimer, sintió en primer término una exaltada reverencia, que después cedió lugar en su mente a una frase sombría del Bhagavad-Gita: Yo me he convertido en la muerte". (p.7)

Un error conceptual frecuente lo es que, no es posible seguir pensando dentro del mismo paradigma que promueve la degradación y que, al mismo tiempo, propone soluciones que no alteran el orden establecido. Su pensamiento asertivo, racional, analítico, reduccionista, lineal, se traduce en valores que hemos aceptado socialmente a través de la cultura, con sus consecuentes prácticas expansivas, competitivas, cuantitativas y de dominación. Este conjunto de axiomas mencionados encuentran un escenario apropiado para su reproducción dentro de una sociedad de los hombres, en contextos culturales de tipo patriarcales que los favorecen, los recompensan económicamente, y además los dotan de poder político.

Así, la crisis ambiental, que es también, una crisis de percepción y de valores (Capra, 1998, p. 26), es el resultado de una lectura del mundo que se mueve a un ritmo distinto al de nuestras reduccionistas posibilidades técnico-científicas, y se agota bajo una visión expansiva, intensiva, racional e instrumental de la vida (ecología profunda), esta última entendida no hedónicamente, sino bajo un entramado que lo incluye todo.

La sostenibilidad ambiental requiere de la incorporación de nuevas bases conceptuales para la elaboración un modelo pedagógico que permita educar para la vida y no para la reproducción mecánica del mundo. Ella es un compromiso que atiende a lo más sublime del ser humano, es un enfoque que procura el *religare* aristotélico, al volver a unir a la naturaleza y al prójimo. Hoy es un tiempo de cambio, de ver lo nuevo bajo un enfoque integrador, que permite hacernos nuevas preguntas a problemas novedosos.

Por lo dicho, apostamos a la transformación comprometida por medio de una pedagogía que permita superar la visión asertiva, expansionista, competitiva y lineal del mundo y la vida que en ella hay; por una integrativa, conservacionista, cooperativa, asociativa y de calidad que permita detener, revertir la intensidad del daño ecológico y asegurar lo necesario para la vida de los que transitarán por el mundo del mañana. Urge educarnos para ser libres, no solamente en la certidumbre que propone el paradigma científico dominante, sino también en la incertidumbre del caos y la totalidad integradora.

Finalmente observaremos que la complejidad apunta hacia consideraciones integradoras, totalizantes y holísticas del mundo, claves para el modelo pedagógico, mientras que la hermenéutica nos ofrece una plataforma pedagógica para transmitir, expresar y comunicar la complejidad. Brinda además una mirada más allá de los modelos cuantitativos, la cual nos ofrece la posibilidad de situar al sujeto en otras posiciones a partir de su experiencia y de la experiencia de los otros, siendo menos restrictiva y monolítica y, más textual de las dimensiones del sujeto: lo corporal, emocional, intelectual y lo experiencial, coincidiendo con la visión integral del desarrollo humano y sus múltiples dimensiones que también son abordadas en los contenidos temáticos de este trabajo (ver Fig.1).

Por lo expresado concluimos que la crisis ambiental no es una crisis natural, sino ecosistémica, y solo puede ser entendida como social e históricamente determinada, es decir, los ecosistemas de hoy son el resultado de las interacciones del pasado.

El paradigma mecanicista de las ciencias y su modelo pedagógico es insuficiente en la contención de la degradación ambiental, huella y analfabetismo ecológico. Este paradigma promueve axiomas expansionistas e intensivos, o la principal fuerza motriz de la insostenibilidad ambiental y de analfabetismo ecológico. La solución no puede seguir buscándose dentro del mismo paradigma que la produce. Los modelos alternativos pueden ser incorporados con aportes de la ecología, el pensamiento complejo y la hermenéutica, las cuales nos develan tanto la inestabilidad del paradigma de las ciencias, como los principios y relaciones ecosistémicas con los sistemas humanos. Gracias a este aporte podemos repensar el problema en su complejidad e interrelación, proponiendo aportes que le sean novedosos, es decir, soluciones sinérgicas e innovadoras a problemas complejos.

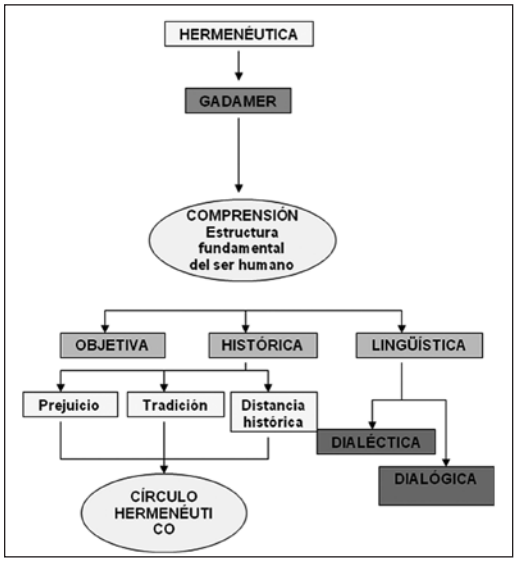


Fig.1 Categorías Hermenéuticas.
Fuente: Elaborado por Emilio Messina (2010) UDELAS.

Las bases conceptuales para el diseño de un modelo pedagógico ecosistémico y complejo de corte hermenéutico son el punto de partida para la transformación comprometida que requiere el sistema mundo, el país y la región, y son la base para la sostenibilidad del agua. La expresión del analfabetismo ecológico es directamente proporcional a la crisis del paradigma, a mayor analfabetismo, mayor degradación de los elementos naturales. Su correlato empírico tangible nos permite formularnos preguntas tales como: ¿Cuánta naturaleza es necesaria para sostener la productividad y la eficiencia de los modelos de desarrollo basados en crecimiento económico? ¿Cuánta agua es necesaria para sostener los actuales ritmos de producción y consumo? En este, sentido un estudio publicado en el año 2010 por investigadores de la National Geographic promovió algunos indicadores sensibles que colocaban en contexto el subsidio que realiza el agua a la racionalidad productiva, y que despiertan una alerta sobre la insuficiencia del agua para el año 2050. El indicador denominado *agua virtual* (Hoekstra, 2002) facilitó el cálculo de la *huella del agua* (Aldaya, 2008) y devela desde nuestro enfoque conceptual que el *sobre-uso* del agua también está permeado por valores expansivos que patentizan el *bien común,* reduciendo el agua a un insumo más de la cadena de negocios, cuyo valor marginal se establece en una relación pura de mercado, debido a su capacidad para generar riquezas y prosperidad, mas no bienestar. Colegimos entonces que producir un kilo de carne de res requiere de 15.947 litros de agua, un derivado de esta como, lo es un kilo de salchicha, 11.535 litros, mientras que producir un kilo maíz, 909 litros de agua.[2] Considerando lo dicho, los mercados verdes, sin una tela axiológica holística e integrativa, representan una amenaza para la sostenibilidad del agua, si se sigue pensando dentro del mismo paradigma que produce el problema.

Lo anterior impele a la humanidad sobre la necesidad de una pedagogía que no comprometa el eje agua, como el eje alrededor del cual gira y es sostenida la vida. Esto propone un problema a resolver, construir una nueva sociedad mediante el fomento de los recursos naturales y humanos que la sociedad existente despilfarra desde hace cinco siglos, en el que enfatizamos el eje agua como elemento natural integrador. Entender que nuestros principales recursos son nuestra propia gente, el agua, y la biodiversidad de los ecosistemas que la proporcionan, y comprender que el ámbito fundamental de interacción entre estos recursos está constituido por las cuencas hidrográficas que

2 Producir un litro de etanol puede requerir de hasta 2.138 litros de agua por cada litro del "combustible ecológico", lo que haría insostenible el enfoque verde de este planteamiento.

definen la estructura natural de un territorio. En este sentido, una sociedad sostenible debe ser creada por sus propios ciudadanos, debe ser democrática, para que sea sostenible, debe ser culta para que sea democrática y solo puede ser plenamente educada y democrática si es equitativa. Una sociedad democrática, educada y equitativa sólo puede ser sostenible si es próspera. La prosperidad basada en la inequidad es una ruta segura al desastre ambiental.

Tabla 2 El enfoque del nuevo paradigma alternativo y la gestión integrada en al abordaje de problemas complejos.

Problema	Aportes del paradigma alternativo	Gestión integrada	Resultados
Crisis del paradigma de las ciencias que promueve valores de la modernidad de tipo asertivo y produce analfabetismo ecológico que promueve degradación de los elementos de la naturaleza e insostenibilidad ambiental	**Principios de la Ecología** La interdependencia ecológica (redes de relaciones) La naturaleza cíclica de los procesos ecológicos (reciclaje) La cooperación (asociaciones más que competencia) La flexibilidad (redes flexibles y fluctuantes ante condiciones ambientales cambiantes) La diversidad (permite adaptación a condiciones ambientales cambiantes) **La inter-dependencia ecológica** ***Sistema económico:*** Relaciones con: agricultura, industrias, comercio, transporte, energía, comunicaciones, pesca ***Sistema social:*** Relaciones con: educación, empleo, vivienda, recreación, participación comunitaria, seguridad, confianza, libertad, paz, etc. ***Sistema ambiental:*** Relaciones con: biodiversidad, clima, aire, agua, vegetación natural, tierra, mares. ***La hermenéutica:*** El hombre como sujeto histórico y contextual	La complejidad ambiental y el enfoque ecosistémico que se apoyan en (i) La gestión integrada del conocimiento; (ii) La gestión integrada del territorio; (iii) La gestión integrada de los sistemas de producción y desarrollo humano, y (iv) La gestión integrada de políticas públicas.	Armonización de los objetivos conflictivos del desarrollo sostenible Control de las fuerzas motrices que producen insostenibilidad ambiental Superación del analfabetismo ecológico

Fuente: Messina, Emilio. (2011) Doctorado en Ciencias de la Educación, UDELAS-Panama, Panama.

REFERENCIAS

Aldaya, Maite. (2008) Water footprint analysis for the Guadiana river basin. *Papeles de Agua Virtual*, No.3. Fundación Marcelino Botín, Universidad Complutense de Madrid (UCM) Departamento de Geodinámica, España.

Aguilar V., L.F. (1992) *La hechura de las políticas*, Miguel Ángel Porrúa, México.

Aguilar V., L.F. (1993) *Problemas públicos y agenda de gobierno*, Miguel Ángel Porrúa, México.

ANAM. (2009) *Estrategia Nacional del Ambiente: Gestión ambiental para el desarrollo sostenible 2008-2012*.

ANAM. (2008) *Plan Nacional de Desarrollo Forestal: Modelo de desarrollo sostenible*. Panamá.

ANAM. (2009) *Informe del Estado del Ambiente, GEO Panamá*.

ANAM. (2002) *Informe de resultados de la cobertura boscosa y uso del suelo de la República de Panamá, 2003-2008*.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2006) *Informe la política de las políticas públicas*. Washington, D.C.

ANAM. (2006) *Indicadores ambientales de la República de Panamá*.

ANAM. (2007) *Política Nacional de Cambio Climático*.

ANAM. (2007) *Política Nacional de Descentralización de la Gestión Ambiental*.

ANAM. (2007) *Política Nacional de Gestión Integral de Residuos no Peligrosos y Peligrosos*.

ANAM. (2007) *Política Nacional de Información Ambiental*.

ANAM. (2007) *Política Nacional de Producción Más Limpia*.

ANAM. (2007) *Política Nacional de Recursos Hídricos*.

ANAM. (2007) *Política Nacional de Supervisión, Control y Fiscalización, Ambiental*.

ANAM-CATHALAC. (2003) *Informe final de resultados de la cobertura boscosa y uso del suelo de la república de Panamá*. Panamá.

ANUIES. (1999) *Plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior*. México: Universidad Veracruzana e Instituto tecnológico de Veracruz.

Bernal, Bosco (2001) *Informe Nacional de Desarrollo Humano* (Informe preliminar): Educación y Pobreza. PNUD. Panamá. P. 7-9

Capra, Fritjof. *La trama de la vida, una nueva perspectiva de los sistemas vivos*.

Castro Herrera, Guillermo. (2006) A propósito del proyecto de ampliación del Canal de Panamá. El transítsmico contra el tránsito. Publicado en el semanario *Peripecias* Nº 2, el 21 de junio 2006.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2008) *Panamá, Pobreza y Distribución de Ingreso en el periodo 2001 – 2007*. Impreso por Naciones Unidas, Chile agosto de 2008.

Downs, A. (1993) El ciclo de la atención a los problemas sociales, en Aguilar V, L.F., *Problemas públicos y agenda de gobierno*, Miguel Ángel Porrúa, México.

Elizalde, Antonio. (2009) *Reflexiones sobre sustentabilidad, desarrollo y cordura*. Serena (Chile), octubre 2009.

Gaceta No.22068. (1992) *Ley No. 10. (1992, 1 de julio)*. Asamblea Legislativa. Artículo 1.

Gómez, Desider. (1996) *Desarrollo sustentable amazónico: estudio de las políticas de desarrollo planteadas en el marco del Tratado de Cooperación Amazónica, 1978 y 1972*. Universidad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ecuador.

Hans Gadamer. (2007) *Verdad y Método*. Volumen I, página 11. Salamanca.

Hardin, Garret. (1968) The Tragedy of Commons. En: *Science*, v. 162: 1243-1248.

Hoekstra, A.Y. (editor). (2002) *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, IHE Delft, The Netherlands.

Margalef, Ramón. (1998) *Ecología*, 9ª edición, Omega, Barcelona.

Lahera E. (2004) Política y políticas públicas. Cepal, Chile.

Leff E. (2006) *La Complejidad Ambiental*. México.

Leff, Enrique. (2007) *Globalización, Racionalidad Ambiental y Desarrollo Sustentable*. Nova, Madrid.

Leyton, Fabiola Donoso y colaboradores. (2008) *Éticas Aplicadas y Bioética*. Universidad de Barcelona. Programa de Ética, Política y Racionalidad en la Sociedad Global Ética. España.

Lezama, José. (2001) El Medio Ambiente como Construcción Social: Reflexiones sobre la Contaminación del Aire en la Ciudad de México. *Revista Estudios sociológicos*. Mayo-agosto, año 2001/vol. XIX, número 002. México pp.325-338.

PNUMA-ANAM. (2006) *Estrategia Nacional de Biodiversidad, Plan de Acción y Primer Informe sobre el Estado de la Biodiversidad Biológica de Panamá*. Panamá.

PNUMA. (2007) *Informe de Síntesis del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Suiza.

PNUMA. (1987) *Informe Burtland nuestro futuro común*. ONU.

PNUMA. (2010) *Geo Lac 3. Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe*.

Reali, Pablo. (2009) Publicación en *Forestal Way*. Uruguay.

Worster, Donald. (2004) Transformaciones de la Tierra. Universidad de Panamá. Colección Agenda del Centenario. Instituto de Estudios Nacionales. Panamá.

Análisis integrado de la sostenibilidad de seis cuencas HELP de América Latina

HENRIQUE M. LEITE CHAVES
Escuela de Tecnología, EFL, Univ. de Brasilia-UnB, Brasilia-DF, Brasil
hchaves@unb.br

Resumen El Índice de Sostenibilidad de Cuencas (WSI, por sus siglas en inglés), un indicador sencillo y robusto de la sostenibilidad de una cuenca, se aplicó a seis cuencas HELP de América Latina entre 1996 y 2007. Administradores de cuencas y actores involucrados participaron en la estimación del WSI, evitando sesgos posibles. El WSI promedio para las cuencas estudiadas fue de 0,64 de 1,00; este varió desde 0,47 (Cuenca del Antequera en Bolivia) a 0,76 (Cuenca del Canal de Panamá, Panamá). La desviación estándar del WSI fue de 0,11. La sostenibilidad de cuencas mostro una pobre correlación con la condición socioeconómica de las cuencas hidrográficas, pero una alta correlación con el número de parámetros limitantes (número de puntuaciones ≤ 0,5). Con el fin de mejorar la sostenibilidad de una cuenca en el futuro, los gerentes y los actores interesados deben abordar las causas que conducen a los parámetros limitantes. A pesar de que el WSI es un método de selección para evaluar la sostenibilidad de una cuenca, es una herramienta útil para lograr un manejo adecuado de cuencas hidrográficas, incluso bajo escenarios futuros.

Palabras clave la sostenibilidad de cuencas hidrográficas; indicadores; América Latina; cuencas HELP

1 Introducción

Los aspectos que inciden sobre la sostenibilidad de una cuenca incluyen temas sociales, económicos y ambientales. Sin embargo, a menudo se tratan por separado, y no como parte de un proceso integral y dinámico (Viessman, 1990). Además, la gestión integrada y ambientalmente sostenible del agua requiere más que simplemente llevar a cabo evaluaciones de impacto. Se necesita la integración de la formulación de políticas, evaluación de proyectos, leyes apropiadas para la gestión del agua e instituciones, a través de la amplitud y profundidad del proceso de toma de decisiones sobre el uso de los recursos hídricos (Smith y Rast, 1998). Además, el manejo de cuencas se hace efectivo cuando el actual "paradigma del candado" entre la ciencia y la gestión se ha roto (UNESCO, 2011).

Para incorporar estos y otros asuntos clave de manejo de cuencas en un indicador sencillo y sólido, Chaves y Alípaz (2007) desarrollaron el Índice de Sostenibilidad de Cuencas (WSI, por sus siglas en inglés). El WSI cuenta con cuatro indicadores que abarcan la sostenibilidad de una cuenca, evaluando al mismo tiempo el estado de cuenca, las presiones existentes, y las respuestas de la sociedad. El WSI se representa como (Chaves y Alípaz, 2007):

$$WSI = (H + E + L + P) / 4 \quad (1)$$

donde: *WSI* (0-1) es el índice de sostenibilidad de cuencas hidrográficas; *H* (0-1) es el indicador hidrológico; *E* (0-1) es el indicador de medio ambiente, *L* (0-1) es el indicador de vida, y *P* (0-1) es el indicador de políticas. Los valores cercanos a 1,0 indican una alta sostenibilidad de cuenca, y viceversa.

Con el fin de facilitar la estimación de los niveles de los parámetros, tanto los parámetros cuantitativos como los cualitativos son divididos en cinco escalas de puntuación (0; 0,25; 0,50; 0,75 y 1,0). Esto permite la utilización de hojas de cálculo en lugar de ecuaciones o de otro tipo de funciones complejas (Chaves y Alípaz, 2007).

La estructura lineal y promedio de la ecuación 1 es simple y transparente, lo que permite la compensación de errores en los indicadores y parámetros. Este es un tema importante en el desarrollo

de modelos, pero a menudo es pasado por alto por los modeladores (Chaves y Nearing, 1991). En vista de que la gestión de cuencas es más eficaz en las cuencas de hasta 2.500 km^2 (Schueler, 1995), este es el límite superior sugerido para la aplicación de WSI. Sin embargo, si las cuencas hidrográficas más grandes van a ser evaluadas, podrían ser divididas en sub-cuencas, y el promedio global sería calculado con los resultados individuales del WSI (Chaves y Alípaz, 2007). La Tabla 1 muestra los indicadores y parámetros del WSI. Los resultados del WSI y otros detalles metodológicos se proporcionan en Chaves y Alípaz (2007).

Tabla 1 Indicadores y parámetros utilizados en el Índice de Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas.

Indicador	Parámetros de Presión	Parámetros de Estado	Parámetros de Respuesta
Hidrología	• Variación en la disponibilidad de agua per cápita en la cuenca para el periodo; • Variación en el BOD5* de la cuenca para el periodo	• Disponibilidad de agua per cápita en la cuenca (promedio de largo plazo) • BOD5* de la cuenca (promedio de largo plazo)	• **Mejora en la eficiencia en el uso del agua (5 años);** • Mejora en el tratamiento/ disposición de aguas servidas (5 años)
Ambiente	• EPI (rural y urbano) de la cuenca en el periodo	• % de la cuenca con vegetación natural	• **Evolución en la conservación de la cuenca (% de áreas protegidas, BMPs) en el periodo**
Vida	• Variación en el ingreso per cápita en la cuenca durante el periodo	• IDH de la cuenca (ponderado con la población del corregimiento)	• **Evolución en el IDH de la cuenca durante el periodo**
Políticas	• **Variación en el IDH-Educación durante el periodo**	• **Capacidad institucional de la cuenca en GIRH**	• **Evolución en las inversiones en GIRH realizadas en la cuenca durante el periodo**

* U otro parámetro de calidad de agua, el que sea más crítico.

Los valores de WSI de más de 0,8 indican una alta sostenibilidad de cuenca; los valores por debajo del 0,5 representan una baja sostenibilidad; y las puntuaciones entre 0.5 y 0.8 representan sostenibilidad intermedia (Chaves y Alípaz, 2007).

El objetivo del presente trabajo es presentar los resultados de la aplicación del WSI a diferentes cuencas hidrográficas de América Latina en los últimos 15 años, identificando sus fortalezas y debilidades, y sugerir cursos de acción para aumentar su sostenibilidad en el futuro.

2 Metodología

El Índice de Sostenibilidad de Cuencas (Chaves y Alípaz, 2007) se aplicó a seis cuencas UNESCO/ HELP de América Latina, en períodos de evaluación relativamente recientes. Siempre que fue posible, el WSI se estimó con la participación de los directores y actores locales, evitando sesgos posibles en su cálculo. La Tabla 2 enumera las cuencas y los períodos analizados.

Tabla 2 Cuencas donde se ha calculado el WSI en América Latina.

Cuenca	Area (km^2)	País	Periodo
São Francisco Verdadeiro	2.200	Brasil	1996-2000
Canal de Panamá	3.000	Panamá	2003-2007
Tacuarembó	16.900	Uruguay	1999-2004
Antequera	226	Bolivia	1997-2001
Elqui	9.826	Chile	2001-2005
Reventazón	3.000	Costa Rica	2001-2005

Como se puede apreciar en la Tabla 2, una amplia gama de tamaños de cuencas hidrográficas, climas y condiciones socioeconómicas fueron estudiados. El WSI se aplicó a cada una de las seis cuencas y se estimaron tanto el índice general como las combinaciones de parámetros que han contribuido a la disminución del WSI global.

3 Resultados

El WSI de las seis cuencas estudiadas se presenta en las Tablas 3-8 a continuación. El WSI global se muestra en la esquina inferior derecha de las tablas, y las combinaciones de parámetros limitantes cuyos resultados fueron iguales o inferiores a 0,50, se muestran sombreadas.

Tabla 3 WSI de la Cuenca S. Francisco Verdadeiro (Brasil).

Indicador	**Presión**		**Estado**		**Respuesta**		**Resultado**
	Nivel	**Puntaje**	**Nivel**	**Puntaje**	**Nivel**	**Puntaje**	
Hidrología	4,8%	0,75	33,600	1,00	Medio	0,50	
	4,6%	0,50	1,3	1,00	Pobre	0,25	
		0,63		1,00		0,38	0,67
Ambiente	11%	0,25	26%	0,75	2%	0,75	0,58
Vida	3,4%	0,75	0,81	0,75	5,1%	0,75	0,75
Políticas	6,3%	0,75	Pobre	0,25	5%	0,75	0,58
Resultados		0,60		0,70		0,66	**0,65**

Tabla 4 WSI de la Cuenca del Canal de Panamá (Panamá).

Indicador	**Presión**		**Estado**		**Respuesta**		**Resultado**
	Nivel	**Puntaje**	**Nivel**	**Puntaje**	**Nivel**	**Puntaje**	
Hidrología	85%	1,00	32,371	1,00	Bueno	0,75	
	0%	0,75	0,4	1,00	Bueno	0,75	
		0,88		1,00		0,75	0,88
Ambiente	12%	0,25	57,9%	1,00	142,7%	1,00	0,75
Vida	1,42%	0,75	0,67	0,50	1,4%	0,50	0,58
Política	1,45%	0,75	Bueno	0,75	25%	1,00	0,83
Resultados		0,66		0,81		0,81	**0,76**

Tabla 5 WSI de la cuenca del Río Tacuarembó (Uruguay).

Indicador	Presión		Estado		Respuesta		Resultado
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
Hidrología	2,5%	0,75	7,000	1,00	Pobre	0,25	
	2,0%	0,50	1,5	0,75	Medio	0,50	
		0,63		0,88		0,38	0,63
Ambiente	15%	0,50	40%	1,00	5%	0,50	0,67
Vida	-5%	0,50	0,80	0,75	12%	0,75	0,67
Política	6%	0,75	Medio	0,50	4%	0,50	0,58
Resultados		0,60		0,78		0,53	0,64

Tabla 6 WSI de la cuenca del Río Antequera (Bolivia).

Indicador	Presión		Estado		Respuesta		Resultado
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
Hidrología	-4,5%	0,50	2,000	0,25	Medio	0,50	
	5,0%	0,50	4,8	0,75	Pobre	0,25	
		0,50		0,50		0,38	0,46
Ambiente	10,5%	0,25	24%	0,50	5%	0,75	0,50
Vida	3,5%	0,75	0,52	0,25	4,0%	0,75	0,58
Política	-4,0%	0,50	Pobre	0,25	-10%	0,25	0,33
Resultados		0,50		0,38		0,53	**0,47**

Tabla 7 WSI de la cuenca del Río Elqui (Chile).

Indicador	Presión		Estado		Respuesta		Resultado
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
Hidrología	-11%	0,25	2,627	0,25	Medio	0,50	
	-40%	1,00	1,3	0,25	Medio	0,50	
		0,63		0,25		0,50	0,46
Ambiente	7,5%	0,50	20%	0,50	1%	0,50	0,50
Vida	4,4%	0,75	0,8	0,75	4,4%	0,50	0,67
Política	4,4%	0,75	Medio	0,50	20%	1,00	0,75
Resultados		0,66		0,50		0,63	**0,59**

Tabla 8 WSI de la cuenca del Río Reventazón (Costa Rica).

Indicador	Presión		Estado		Respuesta		Resultado
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
Hidrología	-5%	0,50	7,000	1,00	Excelente	1,00	
	-10%	1,00	2,0	0,75	Medio	0,50	
		0,75		0,88		0,75	0,79
Ambiente	5,9%	0,50	44%	1,00	18%	0,75	0,75
Vida	11%	1,00	0,71	0,50	4%	0,50	0,67
Política	5%	0,75	Bueno	0,75	15%	0,75	0,75
Resultados		0,75		0,78		0,69	**0,74**

Una gama relativamente amplia del WSI se obtuvo para las seis cuencas estudiadas, variando de 0,7 (baja sostenibilidad) a 0,76 (sostenibilidad media). El WSI promedio de las seis cuencas fue de 0,64, con una desviación estándar de 0,11 (Fig. 1).

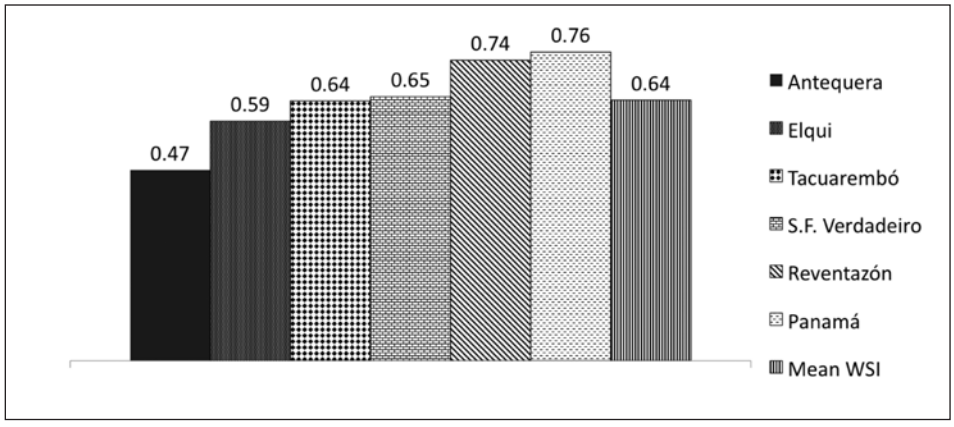


Fig. 1 Valores del WSI para las seis cuencas estudiadas.

Los factores limitantes que contribuyeron a la reducción del WSI, los cuales se muestran en las celdas sombreadas en las Tablas 3-8, fueron generalmente diferentes en las seis cuencas estudiadas. Mientras que las cuencas con climas más secos (Antequera y Elqui) obtuvieron puntuaciones más bajas en los parámetros de hidrología/cantidad de agua, las cuencas húmedas presentan puntuaciones más altas en los mismos parámetros, como se esperaba.

A diferencia del Índice de Pobreza del Agua (Sullivan y Meigh, 2003), no hubo correlación significativa (r = 0,40) entre el IDH y el WSI de una cuenca (Fig. 2), lo que indica que parámetros diferentes a los socioeconómicos son necesarios para explicar la sostenibilidad global de una cuenca.

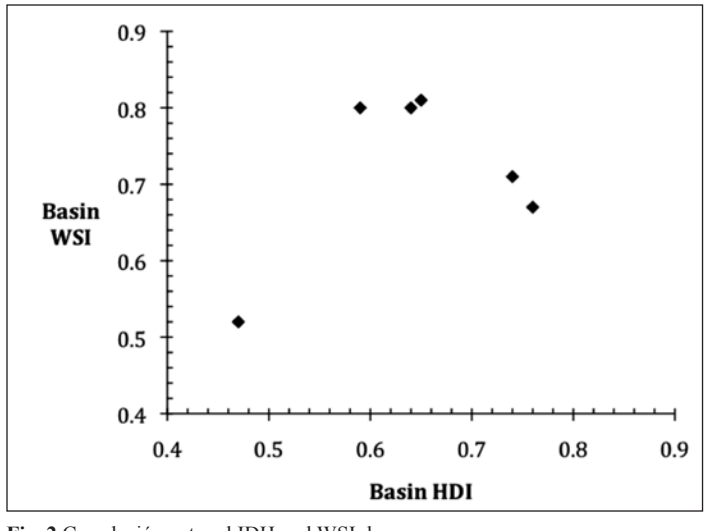


Fig. 2 Correlación entre el IDH y el WSI de una cuenca.

4 Estrategias para el futuro

En general, las cuencas con mayor número de parámetros limitantes (puntajes < 0,50) tienen menores valores de WSI (Fig. 3), lo que indica que para aumentar la sostenibilidad de la cuenca se tienen que abordar las fuerzas que ocasionan estos parámetros limitantes con puntuaciones bajas.

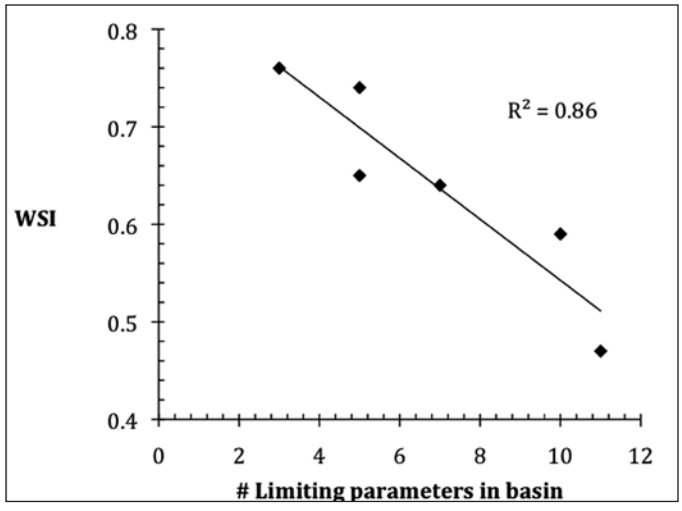


Fig. 3 Relación entre el número de parámetros limitantes y el WSI de la cuenca.

Ejemplos de parámetros de mejora incluyen el fortalecimiento de la educación, la promoción del crecimiento económico de la cuenca, y el desarrollo de una gestión eficiente de los recursos hídricos. El WSI permite la estimación de la sostenibilidad de una cuenca en torno a diferentes escenarios socio-económicos, hidrológicos, ecológicos, y de política, con la participación de los actores involucrados y los encargados de tomar decisiones.

REFERENCIAS

Chaves, H.M.L. y Alípaz, S. (2007) An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: The watershed sustainability index. *Water Resources Management* 21: 883-895.

Chaves, H.L. y Nearing, M.A. (1991) Uncertainty analysis of the WEPP soil erosion model. *Trans. of the ASAE* 34 (6): 2437-2444, St. Joseph.

Schueler, T. (1995) *Site planning for urban stream protection*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington.

Smith, D. y W. Rast. (1998) Environmentally sustainable management and use of internationally shared freshwater resources, in Reimold, R. (ed.): *Watershed management*. McGraw-Hill, NY, p. 277-297.

Sullivan, C.A. y Meigh, J.R. (2003) Considering the Water Poverty Index in the context of poverty alleviation. *Water Policy* 5: 513-528.

UNESCO. (2005) *Hydrology for the Environment, Life and Policy –HELP* (Brochure). Paris, 20 p.

Viessmann, W. (1990) Water management issues for the nineties. *W. Res. Bull*. 26 (6): 886-891.

Deformación tridimensional y el mecanismo de evolución de los hundimientos del suelo en una zona típica de Beijing

GONG HUILI[1, 2, 3], LI XIAOJUAN[1, 2, 3], CHEN BEIBEI[1, 2, 3], LEI KUNCHAO[1, 4] Y ZHANG YOUQUAN[1, 2, 3]

1 *Base of the State Key Laboratory of Urban Environmental Process and Digital Modeling, Capital Normal University, Beijing, China*

2 *Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing, China*

3 *College of Resources, Environment, and Tourism, Capital Normal University, Beijing, China*
gonghl@263.net

4 *Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Beijing, China*

Resumen La investigación sobre la deformación tridimensional y el mecanismo de evolución del hundimiento del suelo se lleva a cabo para hacer frente a estos problemas. Mediante la combinación de las diferentes dimensiones de los procesos de circulación regional del agua en diferentes períodos, la red de monitoreo tridimensional –que consiste en el sistema de posicionamiento global, técnicas de interforemetría de radar de apertura sintética (INSAR), y redes de monitoreo al nivel del suelo y subterráneos–, es integrada y optimizada. El último desarrollo en tecnología de INSAR se combina con las técnicas y métodos convencionales, incluyendo mediciones de nivelación, marcas de capas, y la red de monitoreo de aguas subterráneas, entre otros, para mejorar la precisión del monitoreo de deformaciones y realizar un estudio cruzado en disciplinas tales como la teledetección, la cartografía, hidrogeología, etc. Diversas técnicas y métodos, tales como el análisis del sistema de información geográfica espacial, simulaciones numéricas de las aguas subterráneas, y así sucesivamente, se han adoptado para realizar la extracción de datos espaciales basados en la interacción entre la deformación del suelo y el campo de flujo de agua subterránea. El mecanismo de retroalimentación mutua en la evaluación multinivel del sistema acuífero y la deformación tridimensional de la superficie del suelo se revelan. Otros estudios cuantitativos sobre las contribuciones de la sobreexplotación de aguas subterráneas, hundimientos naturales, y las cargas dinámicas y estáticas para el hundimiento diferencial de la superficie del suelo en la región deben llevarse a cabo para proporcionar una base científica para la regulación y el control del hundimiento del suelo al nivel regional.

Palabras clave hundimiento del suelo; campo de datos espaciales; sistema acuífero; campo de flujo de agua subterránea; campo de estrés de carga

1 Introducción

Una zona de subsidencia típica de Beijing tiene una historia de 60 años de sobreexplotación de aguas subterráneas a largo plazo, lo que resulta en la formación de un cono de depresión de aguas subterráneas y en el desarrollo regional de hundimientos del suelo (Jia, *et al*., 2007; Gong, *et al*., 2009). Estas afectaciones se agravan por la explotación y utilización del espacio urbano superficial en la ciudad, la carga estática de hormigón armado debido al desarrollo urbano y la construcción, y cambios drásticos en la carga dinámica, entre otros, lo que resulta de la red tridimensional de tráfico de la ciudad. Por lo tanto, una serie de problemas en geología ambiental regional se dispara, y la seguridad de la ciudad se ve amenazada gravemente.

La investigación sobre la deformación tridimensional y el mecanismo de evolución del hundimiento del suelo se lleva a cabo para hacer frente a los problemas antes mencionados. Mediante la combinación de las diferentes dimensiones de los procesos de circulación regional del agua en diferentes períodos, la red de monitoreo tridimensional –que consiste en el sistema de posicionamiento global, técnicas de interforemetría de radar de apertura sintética (INSAR) (Ferretti, 2001), y las redes de monitoreo al nivel del suelo y subterráneos–, son integradas y optimizadas. El último desarrollo en

tecnología de INSAR se combina con técnicas y métodos convencionales, incluyendo las mediciones de nivelación, marcas de capas, y la red de monitoreo de aguas subterráneas, entre otros, para mejorar la precisión de monitoreo de deformaciones y realizar un estudio cruzado en disciplinas tales como la teledetección, la cartografía, hidrogeología, etc. Diversas técnicas y métodos, tales como el análisis espacial del sistema de información geográfica, simulaciones numéricas de las aguas subterráneas, y así sucesivamente, se han adoptado para realizar extracción de datos espaciales basados en la interacción entre la deformación del suelo y el campo de flujo de agua subterránea.

El mecanismo de retroalimentación mutua en la evaluación multinivel del sistema acuífero y la deformación tridimensional de la superficie del suelo se revelan. Otros estudios cuantitativos sobre las contribuciones de la sobreexplotación de aguas subterráneas, hundimientos naturales, y las cargas dinámicas y estáticas para el hundimiento diferencial de la superficie del suelo en la región deben llevarse a cabo para proporcionar una base científica para la regulación y el control del hundimiento del suelo al nivel regional.

2 Metodología

En este estudio, el campo de datos espaciales se construyó mediante la combinación de vigilancia rutinaria, la simulación, tecnologías de predicción del sistema de aguas subterráneas, InSAR, GIS y otras nuevas tecnologías, sobre la base de datos dinámicos a largo plazo de la red de observación de las aguas subterráneas, los datos adicionales de exploración, los datos GPS de la red de monitoreo y datos de satélite SAR.

Basado en el modelo combinado entre las variaciones dinámicas de las aguas subterráneas y la respuesta de deformación por hundimiento del suelo, se analizaron las variaciones dinámicas en el embudo de agua subterránea de Beijing de forma sistemática. También se aclaró el proceso evolutivo de la respuesta de hundimiento del terreno, el mecanismo de retroalimentación mutua en la evolución multinivel del sistema acuífero y la respuesta a la subsidencia (hundimiento del suelo). Además se reveló la deformación tridimensional por subsidencia regional en Beijing, así como su mecanismo de evolución.

3 Resultados y análisis

3.1 Adquisición de información de alta precisión sobre deformación del suelo por subsidencia en el área de Beijing

En el presente estudio se investiga la aplicación de la interferometría de radar de apertura sintética (INSAR), basado en monitoreo de redes múltiples para obtener información de deformación del suelo en alta resolución tiempo-espacio, sobre el área de subsidencia en escalas desde milímetro hasta centímetro. Teniendo en cuenta que un resultado de interferometría eficaz no se puede obtener debido a los retrasos de la señal en la troposfera generados por las anisotropías de la de-correlación de la señal y la atmósfera, un nuevo difusor permanente y StamPS (Hooper, 2007) se utiliza para realizar la interferometría. Datos monitoreados por la red de Sistema de Posicionamiento Global (GPS), datos de estaciones de observación meteorológica, y datos de MERIS se combinan para establecer un modelo de corrección atmosférica e integrar el modelo de corrección del retraso atmosférico en el algoritmo StamPS para mejorar el algoritmo PS. Por lo tanto, el efecto del vapor acuoso de la atmósfera se reduce, la gran exactitud interferométrica regional del algoritmo PS se mejora, y se obtiene la información acumulada en el hundimiento del suelo entre 2003 y 2009.

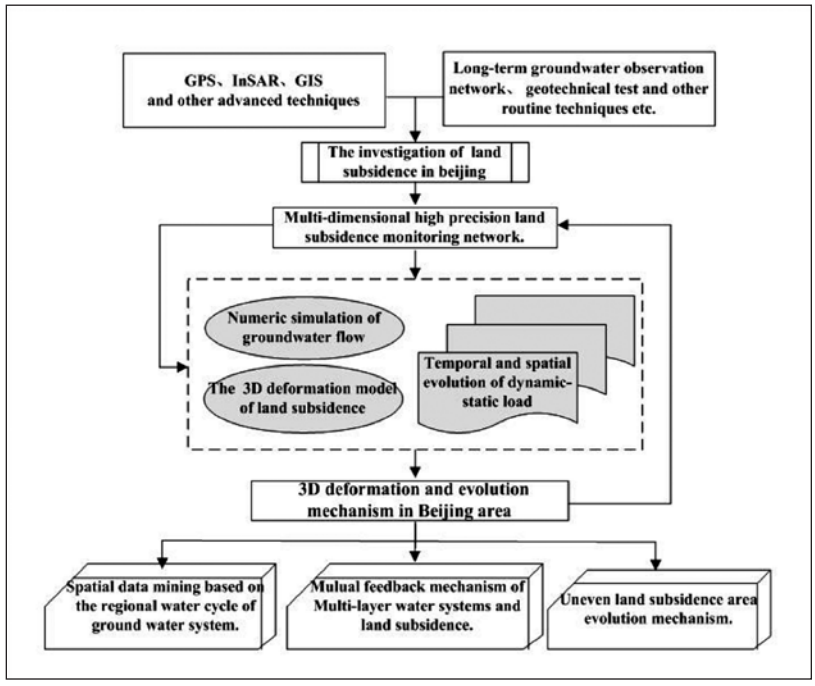


Fig. 1 Modelo de análisis integral para la vigilancia de subsidencia y su mecanismo.

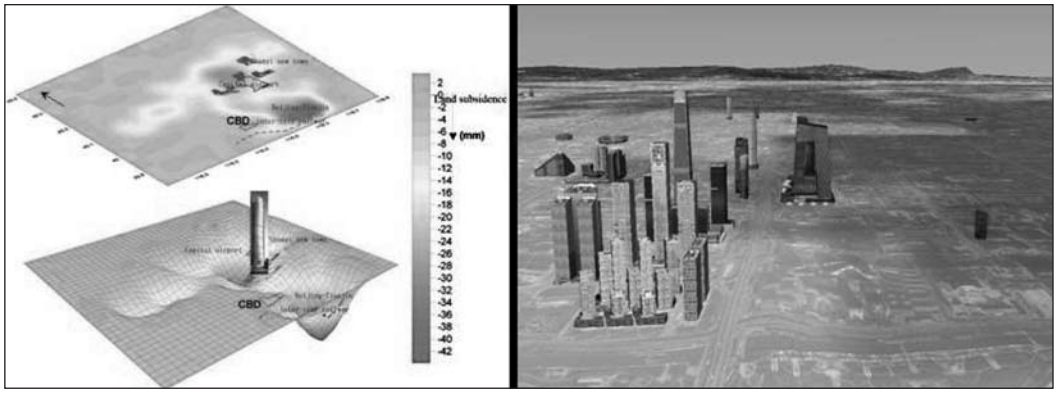


Fig. 2 Información de alta precisión de la deformación del suelo por subsidencia en el área de Beijing.

3.2 Investigación del mecanismo de formación de subsidencias en el área de Beijing

Se identificaron los parámetros espaciales y se optimizaron los límites espaciales con base en la extracción de información tridimensional y el monitoreo de la subsidencia regional. Diferentes técnicas y métodos tales como la interferometría, la simulación numérica de las aguas subterráneas (Gong, *et al*., 2000), análisis espacial del sistema de información geográfica (SIG), y así sucesivamente, se adoptaron para analizar las características de la evolución espacial del flujo de aguas subterráneas con base en el proceso de circulación regional del agua.

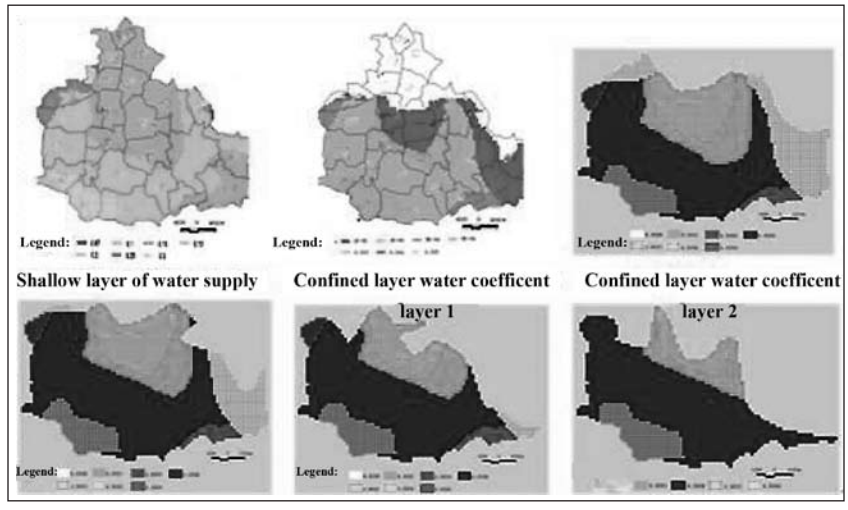


Fig. 3 Identificación y estimación de parámetros de infiltración regional de campo.

Un estudio de todo el sistema basado en la deformación del suelo, el flujo de aguas subterráneas, y los campos de estrés se llevó a cabo mediante la combinación de medidas tales como la exploración física geográfica, pruebas de bombeo, fosa de prueba geológica, y así sucesivamente. Se combinó InSAR con la técnica del análisis espacial de SIG para extraer información sobre deformación tridimensional y realizar simulaciones numéricas tridimensionales del campo de flujo de agua subterránea y el hundimiento regional de la tierra.

Además, esta integración analiza las características de respuesta de la evolución del campo de aguas subterráneas y la subsidencia bajo la función del poder dinámico global, y revela el mecanismo de evolución tridimensional en la subsidencia diferencial regional.

Un estudio exhaustivo de cruce interdisciplinario sobre la teledetección, la cartografía, hidrogeología, y la geología de ingeniería, entre otros, se llevó a cabo para hacer frente a varios factores globales, como la sobreexplotación a largo plazo del agua subterránea en Beijing, la explotación y utilización del espacio cerca de la superficie en la ciudad, el aumento de las cargas estáticas y dinámicas, y así sucesivamente, así como para aclarar el mecanismo general de retroalimentación mutua en el sistema acuífero multicapa y el hundimiento de la tierra.

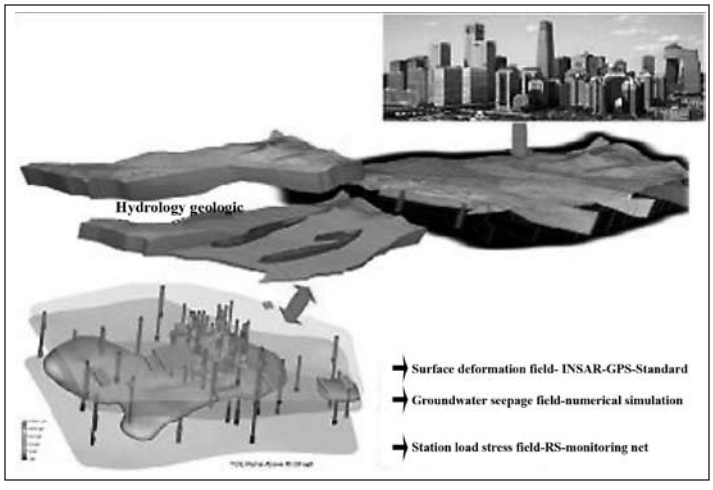


Fig. 4 Mecanismo de retroalimentación mutua en el sistema acuífero multicapa y hundimiento de la tierra.

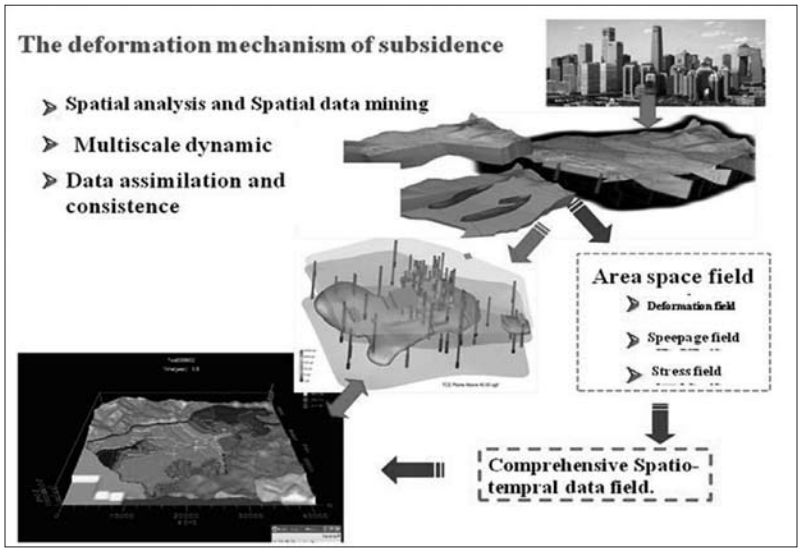


Fig. 5 Mecanismo de formación de hundimiento del suelo en función del campo de datos espaciales.

4 Conclusión

Lo último en alta tecnología de observación, redes existentes para la observación de aguas subterráneas a largo plazo, red de nivelación, y otros métodos se combinaron con las técnicas convencionales y los métodos utilizados para analizar el hundimiento de la tierra para hacer frente a los problemas de sobreexplotación de aguas subterráneas a largo plazo en Beijing (Beijing Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2008), a la explotación y utilización del espacio cerca de la superficie de la ciudad, al aumento de las cargas dinámicas y estáticas, y a problemas ambientales y geológicos inducidos, tales como subsidencia diferencial regional y cambios en el sistema acuífero multicapa, entre otros. Con ello se logra mejorar la precisión en el monitoreo de la deformación tridimensional y se da a conocer el mecanismo de deformación del suelo por subsidencia.

En el presente estudio se adoptaron la técnica InSAR y el método de conjunto de puntos coherentes basado en la integración de las características de variación de la amplitud y la característica de coherencia de fase espacio. Esto para obtener una densidad de puntos coherente y reducir el efecto de de-coherencia. La técnica combinada también es utilizada para garantizar la exactitud y fiabilidad de los resultados del monitoreo más amplio de deformación regional de marco único y obtener información de monitoreo de alta precisión sobre subsidencia.

Con el inicio del estudio interdisciplinario cruzado sobre teledetección, cartografía, hidrogeología, y así sucesivamente, en combinación con los procesos regionales de circulación de agua en diferentes dimensiones y en diferentes períodos, el mecanismo de retroalimentación mutua en la evolución del sistema acuífero multicapa y la respuesta de hundimiento de la tierra se ha aclarado, y se ha dado a conocer la deformación tridimensional del hundimiento del suelo regional en Beijing, así como su mecanismo de la evolución.

Por lo tanto, las diferentes aportaciones de sobreexplotación de aguas subterráneas, de subsidencia natural, y de las cargas estáticas y dinámicas a los hundimientos regionales se han cuantificado; se ha investigado la extracción de datos espaciales sobre el sistema de agua subterránea basado en los procesos regionales de circulación del agua; y se han clarificado las características de respuesta de la evolución del campo de agua subterránea, lo mismo que la subsidencia.

Agradecimientos

La investigación ha sido financiada por el Programa de Cooperación Internacional S&T (No. 2010DFA92400), Programa de MWR de la Industria Financiera Sin fines de Lucro (N º 200901091), y la Natural Science Foundation de Beijing (N º 8101002).

REFERENCIAS

Gong Huili, Zhang Youquan, Li Xiaojuan, *et al*. (2009) The Research of Land subsidence in Beijing Based on Permanent Scatterers interferometric synthetic aperture radar (PS-InSAR) technique. *Progress in Natural Science* 19 (11): 1261-1266.

Jia Sanman, *et al*. (2007) The Impacts of Ground Subsidence on Urban Construction in Beijing. *Geological Hazards* 2 (4): 19-23.

Ferretti, C. Prati, F. Rocca. (2001) Permanent Scatters Insar Interferometry [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39 (1): 8-20.

Hooper. A, Zebker. H, Segall. P, *et al*. (2004) A new method for measuring information on volcanoes and other natural terrains using insar persistent scatterers. Geophys. Re. Lett. 31 (23): 5.

Gong Huili, Li Menlou, Hu Xinli. (2000) Management of Groundwater Resources in Zhengzhou City, China. *Water Research* 34 (1): 57-62.

Beijing Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Hydrogeology and Engineering Geology Team in Beijing. (2008) *Ground water in Beijing*. Land Press of China.

Modelación hidrológica con el modelo de calibración automática (PEST) en el Río Guishui, China

JING ZHANG, LINRUI SONG Y HUILI GONG
College of Resources, Environment, and Tourism. Capital Normal University, Beijing, China
maggie2008zj@yahoo.com

Resumen El programa de simulación hidrológica-FORTRAN (HSPF) fue utilizado para simular el flujo de la corriente del Río Guishui, el cual está ubicado en el noroeste de Beijing, China. En la aplicación, además del módulo PWATER para la descarga de agua, se desarrolló un módulo de riego para el cálculo de las aguas subterráneas poco profundas para el riego agrícola. En el estudio, el modelo hidrológico se estableció utilizando HSPF para simular la descarga y el estado del agua en el embalse de Guanting, con el objetivo de proporcionar apoyo significativo en la futura gestión del reservorio. Tres estaciones de medición se utilizaron para la calibración del modelo. El conjunto de parámetros hidrológicos fue fortalecido por el modelo de calibración automática (PEST). Los resultados mostraron que los parámetros calibrados utilizando PEST son razonables y apropiados, e indican que la reducción en el recurso hídrico debido al cambio de uso del suelo desembocará en una seria escasez de agua para el riego agrícola.

Un Índice simplificado de Gestión de Cuencas Hidrográficas (IsGC) en las cuencas de Cuba

JORGE MARIO GARCÍA FERNÁNDEZ, VIVIANA CASTRO ENJAMIO Y JOAQUÍN B. GUTIÉRREZ DÍAZ
Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Cuba
jorgem@hidro.cu

Resumen Cuba viene desarrollando su experiencia en el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas desde 1997, con una acción continua y sistemática que ha identificado avances en 11 programas de trabajo vinculados a los recursos naturales, económicos y sociales del país. El resultado de este trabajo es el Índice Simplificado de Gestión de Cuencas Hidrográficas (IsGC), una herramienta de evaluación del proceso de intervención sobre la evolución económica, social y ambiental que ocurre cada año en cada cuenca. El mismo es ofrecido tanto en la actualidad como en su evolución a través del tiempo, a través de indicadores e información seleccionada, simplificada y agregada de su sostenibilidad. El cálculo del IsGC consiste de cinco etapas que comienzan con la opción metodológica de 6 indicadores básicos de evaluación, que son integrados en las reuniones de Consejos de Cuenca relacionados con los recursos de agua, suelo y bosques. A cada indicador se le asigna un peso en relación a su importancia y prioridad en cada cuenca, que se obtiene a partir de los criterios de expertos y el uso de dinámicas de grupo para la aplicación del modelo de tipo aditivo deductivo, el cual propone una clasificación que refleje directamente, a partir del valor de IsGC, el grado de intervención en cada cuenca y su grado de evolución. Los valores más altos del IsGC, cercanos a 100, indican una alta intervención, mientras que los valores más bajos, cercanos a cero, indican una baja intervención en la cuenca.

Palabras clave índice; gestión; evaluación; intervención; cuenca; Cuba

1 Contexto de referencia

En varias fuentes de literatura internacional se entiende por definición que una cuenca es el "espacio de territorio definido por la línea divisoria de aguas que conforman un sistema hidrológico que lleva sus aguas a un río principal, lago, mar o zona costera. Es un entorno tridimensional que integra los componentes y las interacciones entre las aguas superficiales y subterráneas, y es una zona donde los recursos naturales y la infraestructura, creada para el desarrollo económico y social, se encuentran, generando a su vez impactos favorables y no favorables para el bienestar humano y el medio ambiente" (CARE, 2005).

Análoga a la definición de la gestión del medio ambiente contenida en la Ley 81 de Medio Ambiente (ANPP - Cuba, 1997), entendemos por gestión de cuencas hidrográficas "un grupo de instrumentos y mecanismos de distinta naturaleza y alcance aplicados en la cuenca de manera coherente y armónica para lograr su desarrollo sostenible."

El Índice Simplificado de Gestión de Cuencas (IsGC) es una herramienta de evaluación aproximada del proceso de intervención económica y social que ocurre en una cuenca como parte constitutiva de su sistema integrado de gestión en función de su desarrollo sostenible. Se ofrece, a través de indicadores, información seleccionada, simplificada y agregada de su sostenibilidad, tanto en la actualidad como de su evolución a través del tiempo.

El IsGC es un algoritmo que expresa una medida de evaluación del estado de la cuenca a partir de indicadores seleccionados. Es a su vez una expresión relativamente simplificada de la compleja interacción de factores, cuyo posible éxito dependerá de la calidad de la información disponible.

2 Etapas metodológicas en el desarrollo del IsGC

Un índice de tipo deductivo fue elegido, considerando su desarrollo relativamente sencillo y confiable. Las etapas fundamentales para su desarrollo son:

a. Selección de los indicadores
b. Definición de pesos relativos o importancia de cada indicador seleccionado (i)
c. Valoración de cada indicador seleccionado en una escala de 0 a 100 (p)
d. Selección del modelo simplificado (algoritmo)
e. Clasificación del estado de gestión de la cuenca de acuerdo al valor del IsGC

2.1 Selección de los indicadores

El universo de los indicadores se identifica dentro de los 11 subprogramas establecidos para el trabajo de los Consejos Nacionales, Territoriales y Específicos de Cuencas de Cuba. Su selección es dada según su importancia, su medibilidad y su impacto directo e indirecto en la calidad de vida de la población:

- Porcentaje de la superficie de suelos mejorados con respecto a la superficie agrícola total de la cuenca (a).
- Porcentaje de cobertura boscosa con respecto al área total de la cuenca (b).
- Porcentaje del desecho de carga contaminante en relación con el total generado (c).
- Porcentaje de la población con acceso a agua potable con respecto al total de la población (d).
- Porcentaje de la población con acceso a saneamiento con respecto al total de la población (e).
- Porcentaje de recursos hídricos utilizados en la cuenca, en relación con el total de recursos hídricos disponibles (f).

2.2 Definición de los pesos relativos o importancia de cada indicador seleccionado (i)

Partiendo del enfoque de que cada cuenca tiene sus propias características, esta etapa metodológica se orienta a definir el peso relativo de cada indicador de acuerdo a su importancia en la cuenca. Se obtienen por medio del consentimiento de un grupo de expertos. Entre las técnicas a ser aplicadas, se seleccionó el método Delphi. La Fig. 1 muestra los pasos de esta segunda etapa de trabajo.

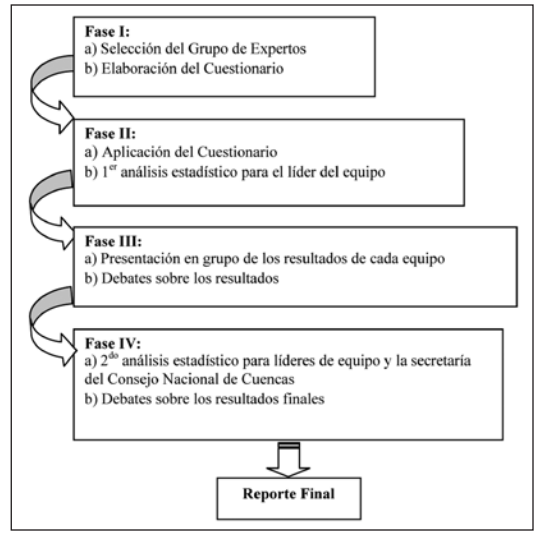


Fig. 1 Segunda etapa metodologógica para el cálculo del IsGC.
Fuente: Elaborada por los autores

A través de la aplicación del cuestionario con los 6 indicadores seleccionados y una clasificación para los mismos que oscila de 0, o no muy importante, a 4, o muy importante, los expertos, a través de equipos de trabajo, llevan a cabo análisis estadísticos que dan un valor ponderado a cada indicador. Los pesos relativos de los 6 indicadores suman 1.

3 Valores de escala de cada indicador seleccionado en una escala del 0 al 100 (p)

Esta es la tercera etapa para el cálculo del IsGC y consiste en otorgar a cada uno de los 6 indicadores seleccionados un valor de calidad, y establecer para cada uno un rango determinado en función del mismo.

Tabla 1 Ejemplos para los indicadores de suelos y bosques.

Indicador: Superficie de suelo mejorado		Indicador: Superficie de cobertura boscosa	
Escala del indicador	**Valor de calidad**	**Escala del indicador**	**Valor de calidad**
Menor que 0,7%	15	Menor que 50%	15
Entre 0,7 y 1,4%	30	Entre 50,1 y 65%	25
Entre 1,41 y 2,1%	45	Entre 65,1 y 80%	50
Entre 2,11 y 2,8%	60	Entre80,1 y 90%	75
Entre 2,81 y 3,5%	80	Mayor que 90,1%	100
Mayor que 3,5 %	100		

4 Selección del modelo simplificado (algoritmo)

El algoritmo es un modelo aditivo de tipo deductivo que aparece descrito en la literatura internacional con relativa frecuencia en la elaboración de diferentes índices, pues ofrece la simplicidad y efectividad necesitada, y además concuerda con el objetivo de evaluación de las actividades de gestión a través de intervenciones aplicadas al caso. La formulación matemática del IsGC es la siguiente:

donde *i* es igual al valor de calidad del indicador y *p* al peso relativo.

$$IsGC = \sum_{1}^{6} (i.p) \qquad (1)$$

5 Clasificación de la gestión de cuencas de acuerdo a los valores del índice simplificado (IsGC)

La clasificación propuesta pretende reflejar tanto el grado de intervención y gestión en cada una de las cuencas como la evolución de estas acciones a través del tiempo. Los valores más altos del IsGC, cercanos al 100, indican una alta intervención en la cuenca, mientras los valores inferiores, cercanos al cero, están próximos al límite inferior, e indican claramente un bajo nivel de intervención. Los valores medios, entre 50 y 60, indican una intervención moderada.

Al momento de interpretar estos resultados, cabe destacar que solo se seleccionaron indicadores tangibles de acción que han contribuido positivamente al mejoramiento y a la conservación de los recursos naturales de la Cuenca. Sin embargo, los servicios sostenibles que aseguran la mejor calidad de vida de los habitantes también deberían ser tomados en consideración.

El IsGC comenzó a ser implementado en el año 2010, con información procedente de cuencas de interés nacional. Los resultados se muestran en la Tabla 2. La Fig. 2 muestra el comportamiento del IsGC durante el periodo 2006 - 2010 en las cuencas de interés nacional. Seguido de su lanzamiento, el IsGC comenzó a ser aplicado en algunas cuencas de interés provincial.

Tabla 2 Resultados del IsGC. Periodo 2006 – 2010 (Unidad de medida: %).

Cuencas de Interés Nacional	2006	2007	2008	2009	2010
Cuyaguateje	53,29	63,29	70,8	61,63	54,96
Ariguanabo	70,79	69,96	61,62	67,46	61,63
Almendares- Vento	66,63	63,29	59,13	74,97	70,8
Ciénaga de Zapata*					64,96
Hanabanilla	73,28	77,45	81,62	85,79	85,79
Zaza	64,95	64,95	73,29	78,29	64,95
Cauto	57,46	59,96	68,28	70,53	68,29
Mayarí		44,12	57,46	59,96	59,96
Toa	72,45	75,78	71,63	79,95	74,12
Guantánamo- Guaso	61,62	67,45	66,62	78,28	72,45

Fuente: Reportes Anuales CNCH.

*La cuenca de Ciénaga de Zapata comenzó su actividad en el año 2010.

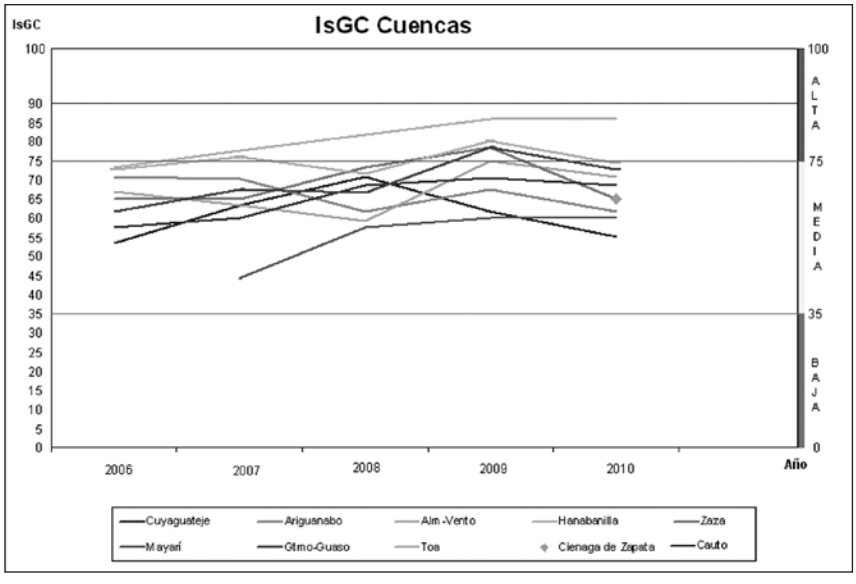


Fig. 2 Resultados del IsGC. Periodo 2006 – 2010.

Comentarios y precisiones

- Se considera que las cuencas con una puntuación de 75,1 o más tienen un alto nivel de gestión. La única cuenca que ocupa esta categoría es la cuenca de Hanabanilla, seguida muy de cerca por la cuenca de Toa. El resto de las cuencas (refiérase a la Tabla 2) se encuentran entre los 35,1 - 75,0 puntos, y se considera que tienen un moderado nivel de gestión. Se considera que tienen un pobre nivel de intervención las cuencas con puntuación por debajo del 35,0.
- El IsGC responde a las variaciones en el comportamiento de diferentes indicadores, es decir, una cuenca puede tener una buena puntuación con respecto a un indicador y una mala con respecto a otro. Esta ocurrencia es observada en cuencas con aumentos en carga contaminante relacionadas al incremento de presencia porcina y otros factores que requieren de un tratamiento urgente de aguas residuales realizada por el Consejo, puesto que involucran organismos

vivientes. Algunas de estas cuencas son la de Cuyaguateje, Ariguanabo, Almendares –Vento y Guantánamo – y la cuenca de Guaso.

- Los indicadores de cobertura forestal han mantenido un incremento sostenido durante el periodo total de análisis de las cuencas, considerando el incremento aproximado de 0,3% según el Índice de Boscosidad Actual (IBA) en los últimos años. Las cuencas más destacadas en cuanto a cobertura boscosa fueron las cuencas de Toa (97,9%), Hanabanilla (94,4%) y Guantánamo - Guaso (94,2%). El menor nivel de forestación se encontró en la cuenca de Ariguanabo (60,6%).
- La cuenca de Zaza mantiene un nivel bastante bajo en el Índice de Boscosidad Potencial (IBP), de tan solo 8.1%. Por el momento, su orden ambiental está en planes de ser estudiado, siendo prioridad la identificación de nuevas áreas que se puedan destinar a la forestación. De manera similar, el indicador para superficie de suelos mejorados apenas alcanzó el 10%.

6 Conclusiones

El cálculo del IsGC para evaluar el comportamiento de las intervenciones de gestión en las cuencas de interés provincial y nacional constituirá una herramienta para la toma de decisiones en diferentes niveles del Consejo. Con la clasificación de indicadores y el cálculo del índice, se podrán identificar las acciones requeridas que sean prioritarias para la gestión de una cuenca.

Esta nueva herramienta para la evaluación y gestión de las cuencas cubanas podrá perfeccionar las acciones que el Consejo de Cuencas ha estado llevando a cabo desde sus inicios en 1997, y confirma la madurez alcanzada por la organización en estos años.

REFERENCIAS

Chaves, Henrique M.L., Alipaz, Susana. (2007) An integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resources Manag*. 21: 883-895.

Astigarraga, E. *Método de Delphi***.** Universidad de Deusto, San Sebastián.

Battelle Memorial Institute. (1973) *Planning, design and operation of comprehensive water quality monitoring systems*. Report WHO, PHO.

De las Cuevas, R, (2007). *Evaluación de la calidad de las aguas de la cuenca Cochino-Bermejo mediante Índices Generales de Calidad de Aguas (ICA)*. Tesis en opción al grado de Maestra en Ciencias. INRH.

García, J.M. (1988) *El control de la contaminación de las aguas: Monitoreo y estudios intensivos*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.

García, J. M., Gutiérrez. J. (1982) Un índice regional de calidad de agua para acuíferos cársicos. *Memorias del Coloquio Internacional sobre Hidrología Cársica en la Región del Caribe*. UNESCO-PHI-Instituto de Hidroeconomía. Editora Palacio de las Convenciones., pág. 567-588.

García, J. M., Gutiérrez J. (1992) Índices de calidad del agua: Resumen de las experiencias cubanas. *Memorias del XXIII Congreso AIDIS*. Tomo I. Parte I. 1. Calidad y Protección de Recursos Hidráulicos. 1.1. Calidad del agua de las fuentes, pág. 104-117. Editora Palacio de las Convenciones. La Habana. Cuba.

García J. M., Gutiérrez J., Beato, O. (1983) Un índice para evaluar la calidad de las aguas superficiales. *Revista Voluntad Hidráulica* 62, p. 47-52.

Gutiérrez J., González, A. (1974) *Un índice de Contaminación de las Aguas Subterráneas*. Grupo Hidráulico Nacional. DAP. Folleto mimeografiado.

Mattingley-Scott, Mark. *Estructuración de un proceso de comunicación de grupo para ocuparse de un problema complejo. Descripción del Método Delphi de T.J. Gordon, Olaf Helmer y Norman Dalkey*.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales El Salvador. (2005) *Manual de Manejo de Cuencas*. CARE, UE. 153 páginas.

Morales, M. (2008) *Diseño de un Índice de Calidad de Agua para el manejo y gestión de los ríos de Ciudad de La Habana*. ISPJAE. Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias.

UNEP, SOPAC. (2005) The Environmental Vulnerability Index EVI. Disponible en www.sopac.org/evi

Yale and Columbia University. (2005) Environmental Sustainability Index ESI. Disponible en www.yale.edu/esi.

Mitigación de las inundaciones utilizando un modelo integrado de pronóstico en tiempo real para la Cuenca del Río Langat, Malasia

MOHD EKHWAN TORIMAN[1], MAZLIN MOKHTAR[2] Y RAHMAH ELFITHRI[3]

1 Escuela de Estudios Ambientales y Desarrollo (FSSK), Universiti Kebangsaan, Malaysia
ikhwan@ukm.my

2 Instituto para el Ambiente y Desarrollo (LESTARI), Universiti Kebangsaan, Malaysia

1 Introducción

La causa fundamental de las inundaciones en Malasia es la fuerte incidencia de las lluvias del monzón y la gran concentración resultante de escorrentía, que supera los sistemas fluviales (Mohd Barzani, et al., 2011; Mohd Ekhwan, 2009). La rápida urbanización en las cuencas fluviales en los últimos años también ha servido para agravar el problema con mayor escorrentía y el deterioro de la capacidad del río, lo que ha resultado en inundaciones de mayor frecuencia y magnitud (Mohd Ekhwan, 2010; Yusri, 2007).

En realidad, las inundaciones son una de las amenazas más comunes en Malasia, en particular en la Cuenca del Río Langat. Situada en la zona tropical, la cuenca recibe fuertes lluvias, con un promedio de 2000 mm a 3500 mm al año. El clima es influenciado por dos monzones, es decir, el monzón del noreste, que se produce de noviembre a marzo, y el monzón del suroeste, de mayo a septiembre. El primero lleva fuertes lluvias a la costa oriental de la Península. Con la tendencia en aumento en el desarrollo de la tierra, más y más áreas se están tornando sensibles a precipitaciones de alta intensidad y de corta duración, lo que lleva a inundaciones. Entre los métodos de mitigación de las inundaciones se han aplicado varios pronósticos de inundaciones y sistemas de alerta, basados en modelos hidráulicos avanzados, pero resultaron inadecuados por su incapacidad para predecir inundaciones inminentes y, por lo tanto, han tenido un efecto limitado en la reducción de los costes y daños a la vida y a la propiedad debido a inundaciones. Además, las limitaciones prácticas de pluviómetros para medir la precipitación media en grandes áreas y en zonas a veces inaccesibles son cada vez más evidentes. Los Hidrólogos y urbanistas se inclinan cada vez más a aplicar maneras más precisas y rápidas de proporcionarle al público información sobre las inundaciones y alertarlos a que se preparen para una evacuación.

Antes de 1980, el Departamento de Irrigación y Drenaje de Malasia (DID) no tenía ninguna facilidad para prever las inundaciones, excepto a partir de los pronósticos e informes urgentes del tiempo. Ellos, por lo general reaccionaban a información recibida por teléfono proveniente de personas que ya habían sufrido un daño o que se habían dado cuenta de estaban ocurriendo inundaciones. En un proyecto piloto, en el año 1988, se implementó una pantalla de SIG con mapas de riesgo de inundación de la cuenca alta del Río Klang (incluyendo la ciudad capital, Kuala Lumpur). El estudio dio como resultado la elaboración de mapas de riesgo de inundación que muestran la magnitud de las inundaciones debido a las descargas, y los períodos de intensidad-duración-retorno de las lluvias. Estos mapas proporcionan referencia útil para los planificadores de la ciudad y los propietarios de tierras para la planificación de futuros desarrollos en las áreas propensas a inundaciones del valle de Klang (Hiew, 1996). Sin embargo, la información es limitada y sólo se puede acceder a través de documentos y sitios web del DID. Las personas, sobre todo las que viven cerca de los ríos, no tienen la menor idea sobre cuándo tienen que prepararse, antes y durante las inundaciones. Por lo tanto, la necesidad de imágenes en tiempo real de la precipitación conducente a inundaciones repentinas es muy importante en los modelos de inundación en tiempo real. Esto incluye información proveniente los embalses aguas arriba, en tiempo casi real.

Aquellas personas vulnerables, en particular, que viven cerca de ríos, ahora tienen la posibilidad de obtener algún tipo de aviso de inundaciones inminentes. Además se conoce que el DID, en colaboración con el sector privado y la universidad, está trabajando en pronósticos de inundaciones en tiempo casi real de una manera proactiva, en lugar de hacerlo en forma reactiva. Con la capacidad actual desarrollada por el DID para hacer pronósticos de inundaciones con alerta de 6 a 12 horas de una inundación inminente, la población podrá evacuar el área a tiempo. Esto es muy diferente de lo ocurrido en diciembre de 1993 y de 1998, cuando la mayoría de las áreas a lo largo del Sg Jelok en Kajang quedaron sumergidas debido a las inundaciones repentinas, resultando en graves consecuencias económicas (Mohd Ekhwan, 2000).

Este documento describe cómo el sistema de pronóstico de inundación en tiempo casi real que ayuda a las agencias, planificadores y el público, se ha puesto en marcha en la cuenca del Río Langat. El objetivo principal es desarrollar información de inundaciones en tiempo real que pueda ser entregada al público utilizando sitios sencillos en la Red móvil, que se puedan acceder desde teléfonos móviles con servicios GPRS o 3G. El sitio web de InfoBanjir (http://infobanjir.water.gov.my) fue diseñado para servir a las necesidades del personal profesional del DID Malasia, las agencias locales, empresas privadas y los interesados en el ámbito internacional. Ahora, con más usuarios de Internet, así como de teléfonos móviles en la cuenca del río Langat, esta será la primera iniciativa para adaptar una parte de InfoBanjir para satisfacer las demandas del público. Según informó el sitio Web del DID, la página Web InfoBanjir recibe hasta 34.000 visitas al día, especialmente durante las temporadas de inundaciones.

2 Área de estudio

El área de la cuenca hidrográfica del Río Langat es de aproximadamente 1.815 km^2. La longitud del rio principal es de 141 kilómetros, en su mayoría situados a unos 40 km al este de Kuala Lumpur. La precipitación anual es de aproximadamente 2.400 mm, variando entre 1.800 y 3.000 mm. La mayor precipitación ocurre en los meses de abril y noviembre, con una media de 280 mm. El menor índice de precipitación se produce en el mes de junio, con una media de 115 mm. Las Figuras 1 y 2 muestran las características físicas en la cuenca del Río Langat.

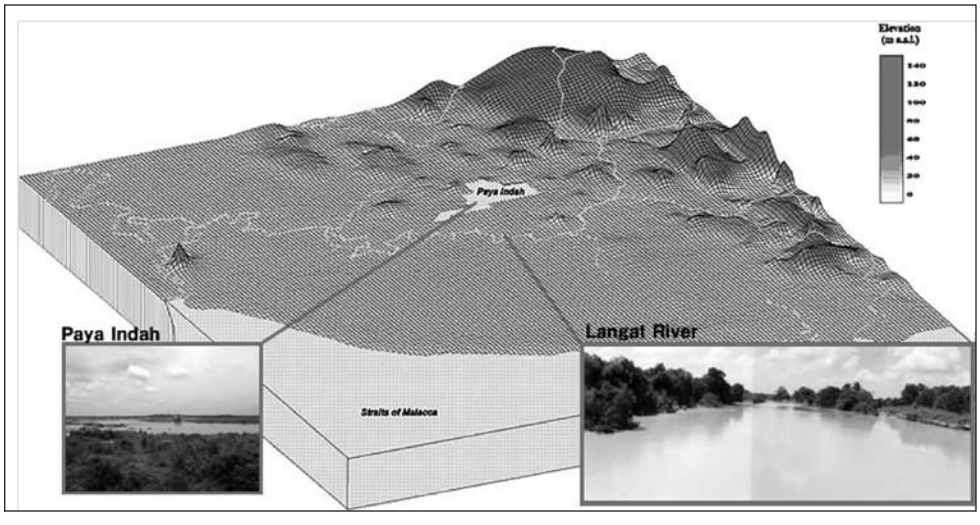


Fig. 1 Topografía de la Cuenca del Río Langat.

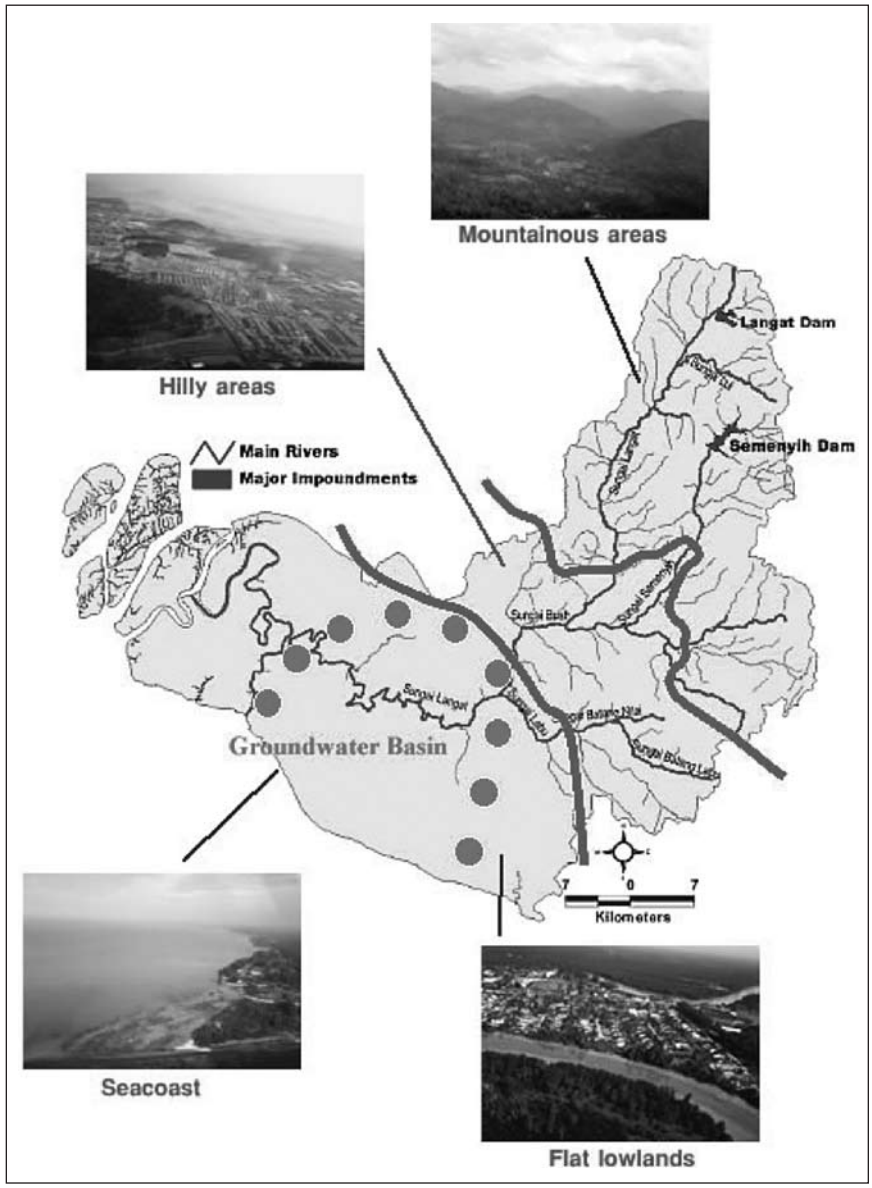


Fig. 2 Aguas subterráneas y otras redes de los ríos principales en la Cuenca del Río Langat.

La densidad de drenaje (D) es la relación del total acumulado de las longitudes de canal para todos los órdenes dentro de la cuenca (Horton, 1945). Basado en la clasificación de textura de Strahler (1957), se puede decir que la densidad de drenaje de la Cuenca del Langat es de baja densidad. La relación de bifurcación fue definida por Horton (1945) como la relación entre el número de corrientes de un orden y la cantidad de arroyos de la orden más próxima (n + 1). En la cuenca del Río Langat, el valor promedio de la relación de bifurcación es de 4,93. Tomando ejemplos de la Malasia peninsular de Sabry (1997) en el Río Tekala (5,1), de Koh (1978) en el Río Lui (3,75) y de Mykura (1989) en

el Río Klang (5,9), la relación de bifurcación media tiende a ser aproximadamente 5 en la mayoría de las zonas de captación en el área peninsular.

La cuenca Langat es un área importante que abastece de agua cruda y otros servicios a aproximadamente 1,2 millones de personas. Las conubarciones importantes que reciben el servicio incluyen ciudades como Cheras, Kajang, Bangi, el Centro del Gobierno de Putrajaya y otros. Hay dos embalses (Semenyih y Hulu Langat) y 8 plantas de tratamiento de agua (4 de las cuales funcionan las 24 horas), que proporcionan agua potable a los usuarios después de tratarlas.

3 Metodología

El pronóstico en tiempo casi real (30, 60 minutos) es específico a tiempo y lugar, basado principalmente en observaciones. Los métodos operativos para las alertas tempranas en las predicciones de inundaciones en tiempo casi real ni siquiera implican un pronóstico, sino que se basan en el monitoreo de acumulación de precipitación proveniente de pluviómetros. Las inundaciones repentinas se producen cuando determinados eventos meteorológicos se combinan con ciertas condiciones hidrológicas. Se están desarrollando varios enfoques para la predicción de inundaciones repentinas en tiempo casi real. Sin embargo, las predicciones de la magnitud y el calendario de eventos inundaciones repentinas es un gran desafío. A menudo se cita las lluvias de las tormentas como causantes de las inundaciones repentinas, así como el nexo entre las lluvias de alta intensidad y los antecedentes de precipitaciones que ocurren antes de las tormentas. El patrón de las precipitaciones de intensidad-duración de cada tormenta durante o inmediatamente después, así como cuáles inundaciones repentinas se han producido, puede ser analizado, y una serie de puntos que representan una amplia gama de duraciones de lluvia (x) y las intensidades asociadas (y) puede ser trazado. Eventos posteriores pueden ser analizados de manera similar, y si se utilizan las mismas duraciones, una serie de columnas verticales de datos se puede lograr, cada una en representación de los eventos asociados con diferentes intensidades de lluvia para una duración determinada.

El límite inferior de estos puntos de datos representa el umbral de inundaciones repentinas inducida por la precipitación. Un elemento adicional a este enfoque puede ser el llevar a cabo el mismo tipo de análisis para las tormentas que no desencadenan inundaciones repentinas. Esto permite que el umbral sea definido desde abajo, así como desde arriba, dándole un grado adicional de seguridad al proceso.

Algunas de las innovaciones aquí incluyen:

- El empleo de los SIG para capturar las precipitaciones en tiempo real en sub-cuencas para alimentar modelos de precipitación/escorrentía mediante la integración de los campos espaciales óptimos de precipitación
- Derivación de un método de predicción a corto plazo en tiempo casi real de los campos de precipitación para la advección de posibles campos de precipitación en tiempo real a futuro, con el fin de prever dónde va a llover, hasta una hora antes (Fig. 3).

4 Resultados y discusión

La Ilustración 6 muestra el desarrollo de una curva puramente hipotética del umbral de precipitación utilizando esta metodología. Cabe señalar que, aunque el enfoque es correcto, es difícil justificar el gasto de recursos para analizar los "eventos que no han ocurrido". Los datos hipotéticos de precipitación de la Fig. 4 se utilizaron para desarrollar tres l niveles de umbral (también hipotéticos):

- Un nivel de umbral por encima del cual podría esperarse que se produzcan inundaciones repentinas

- Un nivel de umbral en el que se emite una advertencia y se toman medidas –fijado en un nivel inferior para dar el tiempo adecuado para la notificación y acción efectivas
- Un umbral aún de más bajo nivel en el que se revisan los instrumentos y el personal clave es alertado de la posibilidad de que el desarrollo de condiciones propicias para que desencadenen inundaciones repentinas –un precursor de la emisión de la advertencia de inundaciones repentinas

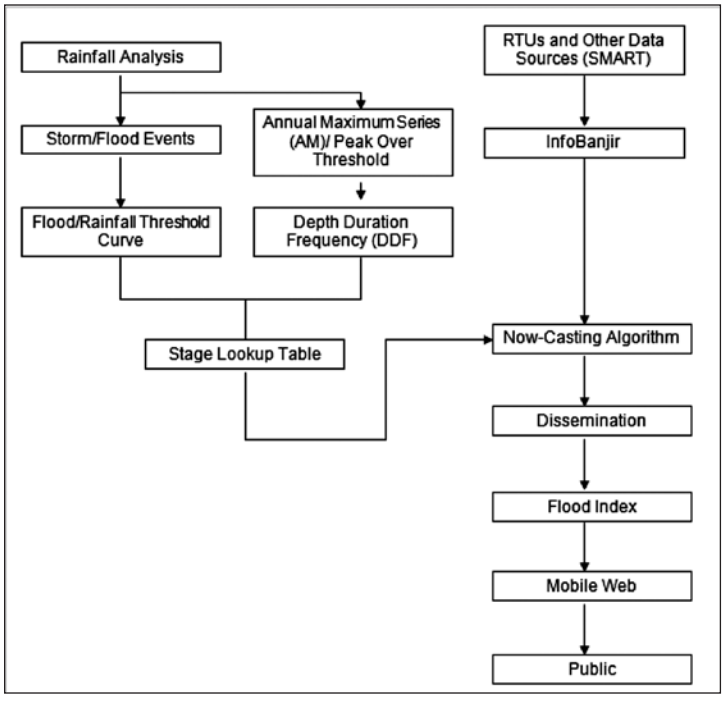


Fig. 3 Diagrama esquemático del enfoque de pronóstico de inundación en tiempo casi real.

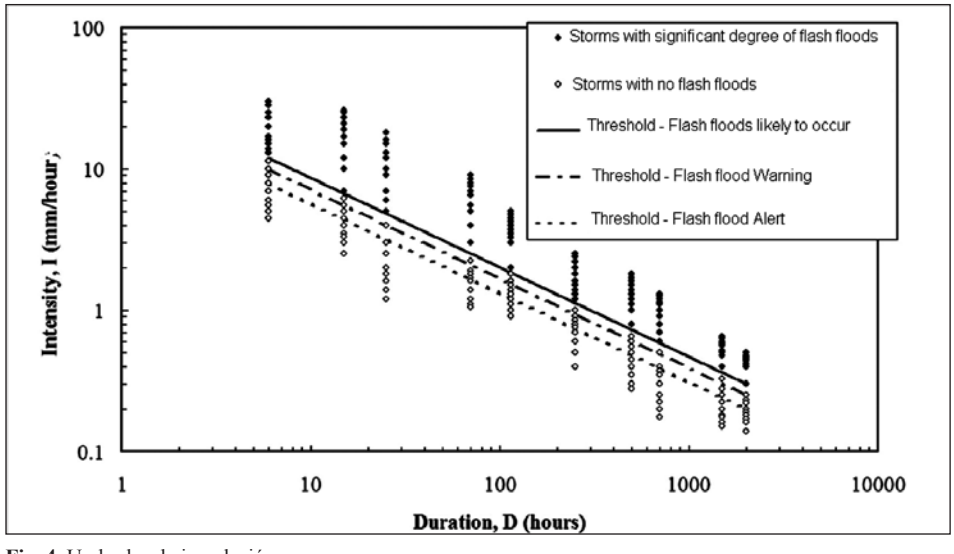


Fig. 4 Umbrales de inundación.

Es importante reconocer que los niveles de umbral desarrollados de esta forma no son de ninguna manera absolutos. La cuantificación de las precipitaciones con el fin de determinar el medio de transporte es una parte importante del pronóstico en tiempo casi real. La cuantificación de las precipitaciones se efectúa generalmente con mapas isopluviales y de curvas de Pprofundidad-Duración-Frecuencia (DDF). Las curvas de Umbral-Precipitación y las curvas de Profundidad-Duración-Frecuencia se pueden utilizar para determinar el riesgo de que la capacidad de las estructuras en el área pueda ser superada. En esta metodología, la curva de DDF se utilizará para cuantificar la magnitud de las precipitaciones en la zona junto a Jalan Mx Chua, una de las zonas más vulnerables en relación con las inundaciones repentinas en la cuenca del Río Langat. La curva de DDF será utilizada en combinación con la técnica de la velocidad de subida (m/h) para la estimación de la etapa a través de una tabla de consulta que contiene información de las etapas de los hechos históricos recogidos por la estación de telemetría Sg Langat en Kajang (Fig. 5).

Una vez que la curva Umbral-Precipitaciones, DDF y la tabla de consulta de las etapas se hayan establecido, un algoritmo será programado en el sistema InfoBanjir para calcular y evaluar el riesgo de inundaciones. El riesgo brindará alertas a las áreas vulnerables, adyacentes a Jalan Sg Chua. Estas advertencias se mostrarán en InfoBanjir, la Web de Celulares, y como alarmas de mensajes de texto (SMS) a los usuarios pre-determinados de los mismos. Ejemplos de mensajes se muestran a continuación:

- *Mensaje 1*: "¡*Lluvia fuerte! Crecida del río en Jalan Sg Chua y sus alrededores - JPS Malasia 20/02/2011 - 15:30*"
- *Mensaje 2*: "¡*Inundaciones menores y crecida del río en Jalan Sg Chua y sus alrededores, tenga cuidado - JPS Malasia 20/02/2011 - 16:30*"

El sitio web móvil propuesto que se puede acceder desde teléfonos móviles con servicio GPRS o 3G mostrará los índices de inundación en una forma amigable y de fácil comprensión. La Fig. 6 muestra un ejemplo de una página web para móviles.

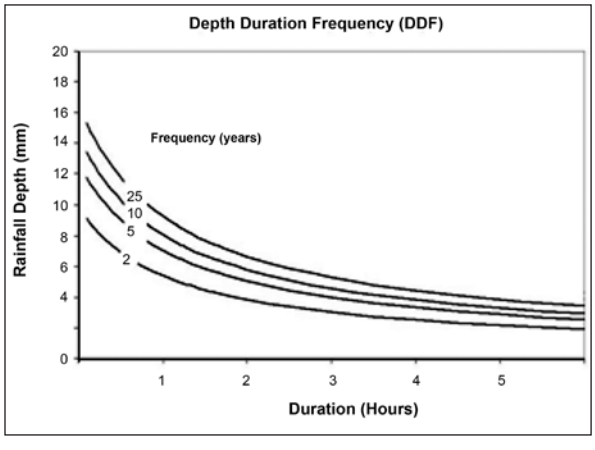


Fig. 5 Medición DDF en Sg Langat, en Kajang.

Fig. 6 Ejemplo de página Web para Celulares.

5 Conclusión

La aplicación de información hidrológica en tiempo real no es la solución a todos los problemas mencionados anteriormente, pero puede mitigar los problemas de inundaciones y de esta manera reducir las pérdidas económicas y los problemas de salud a los que se enfrenta el público por las inundaciones urbanas. La información generada por un sistema de información hidrológica en tiempo real, junto con datos históricos para análisis de diseño y mantenimiento, se podrá utilizar para lograr una mejor funcionalidad del sistema hidrológico urbano. Hacer que la información hidrológica esté públicamente disponible a través de Internet y por medio de telefonía móvil es en la actualidad una tarea factible, lo que hace la recolección de datos más valiosa y el trabajo de los hidrólogos más altamente apreciadas por el público. En este proyecto, la columna vertebral esencial para el pronóstico de lluvia y las inundaciones urbanas se establece y puede ampliarse fácilmente para alcanzar pronósticos más precisos, por ejemplo, mediante la adición de pluviómetros en línea al sistema, o al cambiar el tiempo de muestreo para los pluviómetros a un período más corto. Además, la información hidrológica se puede aplicar en combinación con modelos hidrológicos y de drenaje urbano en tiempo real, proporcionando así apoyo a las decisiones y a los sistemas de alerta para hacer frente a las inundaciones urbanas e inundaciones repentinas. Los autores creen que los sistemas de información hidrológica como los descritos en este trabajo pueden ser, en el futuro, parte de la infraestructura en cualquier ciudad importante del mundo.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Centro de Gestión de Investigación e Instrumentación (CRIM) de la Universiti Kebangsaan Malaysia, que nos proporcionó el Financiamiento para la Investigación (UKM-AP-PLW-05-2010). Nuestro agradecimiento también va a Drenaje e Irrigación de Malasia (DID) por su apoyo en general.

REFERENCIAS

Hiew Kim Loi. (1996) *Flood mitigation and flood risk management in Malaysia*. Trabajo presentado en la International workshop on floodplain risk management. Kuala Lumpur. 205-216.

Ho, K. H., Ghazali, A. H., and Chong, S. F. (2002) *Calibration and Evaluation of Modified Tank Model (Flood Forecasting Model) for Kelantan River Basin, Malaysia*. Trabajo presentado en la Water Engineering Conference Malaysia 2002. Julio 23-24. University Putra Malaysia http://eng.upm.edu.my/wec2002/sessions/watergeo.htm. Acceso en Ago 15, 2003.

Mohd Ekhwan Toriman, A. Jalil Hassan, M. Barzani Gazim, Mazlin Mokhtar, S.A. Sharifah Mastura, Othman Jaafar, Othman Karim & Nor Azlina Abdul Aziz. (2009) Integration of 1-d Hydrodynamic Model and GIS Approach in Flood Management Study in Malaysia. *Research Journal of Earth Sciences* 1 (1): 22-27.

Mohd Ekhwan Toriman, Othman A. Karim, Mazlin Mokhtar, Muhammad Barzani Gazim & Md. Pauzi Abdullah. (2010) Use of InfoWork RS in modeling the impact of urbanisation on sediment yield in Cameron Highlands, Malaysia. *Nature and Science*. 8 (2): 67-73.

Mohd. Ekhwan Toriman (2000) Banjir sebagai bencana: Isu, cabaran dan pengurusannya di Malaysia dalam Jamaluddin Md. Jahi. (eds). *Pengurusan persekitaran di Malaysia.* Pusat Pengajian Siswazah, UKM. Bangi press. 127-147.

Muhammad Barzani Gasim, Salmijah Surif, Sahibin Abd. Rahim, Ainon Hamzah, Md. Pauzi Abdullah, Mohd Ekhwan Toriman, Mazlin Mokhtar, Wannor Azmin &Sulaiman & Mohd Ismail Yaziz. (2011) Development and Land-Use Change in the Semenyih River Basin and Their Impact, Selangor, Malaysia. Nota de investigación, *The Arab World Geographer / Le Géographe du monde arab* 14 (2): 205-214.

Yusri, Othman A. Karim, Khairul Nizam Abdul Maulud & Mohd Ekhwan Toriman. (2007) Geographical Information System Application for Estimating Land Use Changes of Pekanbaru City. *Jurnal Dinamika Pertanian.* Vol. XXIII. Bil. 3. 157-164.

Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) para el Río Reventazón en Cartago, Costa Rica, período 2000-2005

NICK CATANO[1], MARK MARCHAND[1], SIMONE STALEY[1], YAO WANG[1], GUILLERMO FLORES M.[2] Y GUSTAVO CALVO[3]

1 Facultad de Ingeniería, Instituto Politécnico Worcester (WPI), EEUU

2 Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Alta del Río Reventazón (COMCURE), Cartago, Costa Rica gflores@racsa.co.cr

3 Centro de Gestión Ambiental. RIOCAT-UEN Producción. ICE, Cartago, Costa Rica

Resumen La Comisión de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Alta del Río Reventazón (COMCURE), en Cartago, Costa Rica, con el apoyo de CONAPHI-Costa Rica se incorporó a la red de Cuencas HELP del Programa Hidrológico Internacional PHI-LAC de la UNESCO en el 2009. A raíz de esta incorporación, la COMCURE ha calculado el Índice de Sostenibilidad de Cuenca (ISC), dividiendo la cuenca en tres regiones: alta, media y baja, sobre la base de aspectos ambientales y de altitud. La metodología aplicada es la desarrollada por Chaves y Alípaz, que integra aspectos de Hidrología (H), Ambiente (E), Vida (L) y Políticas (P) en el marco de tres parámetros: Presión, Estado y Respuesta. Los promedios finales del índice obtenidos para cada región son similares, 0,74, 0,73 y 0,74, para las regiones alta, media y baja, respectivamente. El puntaje relativo más bajo para esta cuenca fue de 0,50, correspondiente al indicador de Vida, y revela que las condiciones de vida existentes en ella son relativamente insatisfactorias. La región alta obtuvo buenos resultados en todos los indicadores. La región media necesita mejorar el parámetro de presión ambiental, debido a que padece los efectos de las actividades agrícolas y humanas; se recomienda varias estrategias para resolver los problemas: incorporación de plantas adicionales de tratamiento de aguas residuales y servidas, y la elaboración de proyectos adicionales de agricultura sostenible. La región baja tiene problemas con el parámetro de presión cuantitativa hidrológica, lo que indica la posibilidad de que en el futuro se deba incrementar la disponibilidad de agua en la región baja.

Palabras clave Índice; Sostenibilidad; Cuenca; Hidrología; Ambiente; Vida; Políticas

1 Introducción

La Cuenca del Río Reventazón se ubica en la zona central de la Vertiente Atlántica de Costa Rica. Comprende en su totalidad un área de 2950 km2, equivalente al 5.20% del territorio nacional, con una longitud de 125 km. Involucra territorios de las Provincias de Cartago y Limón. Su población aproximada es de 550.000 habitantes concentrados en su mayoría en las partes alta y media de la cuenca. Es la tercera en tamaño en todo el país, y la misma cumple un papel importante en la economía nacional, por ser la fuente del 38% de la energía hidroeléctrica, del 25% del agua potable de San José, del 85% de la producción hortícola (papa y cebolla), del 33% de la ganadería y del 50% del cemento nacional, sin considerar los aportes de la parte baja de la cuenca.

El equilibrio de los recursos naturales de la cuenca se encuentra amenazado por procesos de degradación, tales como la erosión y el transporte de sedimentos, la sobre-aplicación de pesticidas y fertilizantes químicos, la mala disposición de los desechos en fincas, la carencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas, la mala disposición de basura urbana, la deforestación y la sobreutilización de la tierra por las malas prácticas agrícolas (labranza de suelos para la horticultura). Estos procesos se asocian a la alta precipitación, las fuertes pendientes y la fragilidad de los suelos, que son principalmente de origen volcánico, produciendo alta escorrentía, deslizamientos, transporte de sedimentos y un largo historial de inundaciones en sitios críticos de la cuenca. En cuanto a los niveles de contaminación de sus aguas, esta cuenca se sitúa en el segundo lugar a nivel nacional, con un porcentaje del 11% del total de la contaminación total del país.

A raíz de estas situaciones, y dada la relevancia económica y ambiental de la cuenca, en el año 2000 se aprueba la ley 8023, creando la Comisión de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Alta del Río Reventazón (COMCURE), como una experiencia piloto en el manejo de cuencas, y con proyección a las demás cuencas del país. La aplicación del Plan de Manejo dio inicio a un proceso efectivo de desarrollo sostenible de la cuenca.

La COMCURE, con el apoyo de CONAPHI-Costa Rica, se incorpora a la red de Cuencas HELP del Programa Hidrológico Internacional PHI-LAC de la UNESCO en el año 2009. A raíz de esta incorporación, la COMCURE ha calculado el Índice de Sostenibilidad de Cuenca (ISC), encargando a un equipo de estudiantes de la facultad de Ingeniería del Instituto Politécnico de Worcester (EEUU) el cálculo del ISC para cada una de las tres regiones de la cuenca, con el fin de confirmar el estado de salud de las diferentes regiones y así detectar los problemas críticos que se experimentan en cada una.

2 Metodología

La metodología aplicada para la determinación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) es la desarrollada por Chaves y Alípaz (2007). Este índice toma en cuenta las relaciones causa – efecto, e integra aspectos de Hidrología (H), Ambiente (E), Vida (L) y Política (P) en el marco de tres parámetros: Presión, Estado y Respuesta. A cada indicador se le otorga igual ponderación.

2.1 Análisis cuantitativo

Se utilizaron las cifras de población clasificadas por cantones y distritos para el periodo 2000-2005, obtenidas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica. Los datos sobre el Índice Desarrollo Humano (IDH) y sus sub-índices (IDH-Ingreso e IDH-Educación) fueron tomados del Atlas del Desarrollo Humano Cantonal de Costa Rica 2007. La Disponibilidad de Agua (DA) y las cifras de DBO5 se hallaron en informes de Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), que incluían datos referentes a diversas estaciones de control distribuidas en toda la cuenca, desde el año 2000 hasta el año 2008.

2.2 Composición de la población

Para obtener datos más confiables en los parámetros del IDH y sus sub-índices, estos fueron ponderados en función de la población. Para ello fue necesario conocer la población de cada cantón y de cada región (véase Fig. 1). Los límites que separan las tres regiones se definieron por límites políticos cantonales, con lo cual cada cantón se considera como parte de una sola de las tres regiones.

2.3 Cómputo en pixeles de los mapas de zonas protegidas

Se utilizaron mapas de zonas protegidas para la totalidad de la cuenca para 2000 y 2005, obtenidos del Documento de Áreas Silvestres Protegidas. Para obtener valores numéricos a partir de los mapas, estos se superpusieron a la Fig. 1. Luego, con Adobe Photoshop Creative Suite 4 se realizó un cómputo en pixeles en el área protegida de cada región, así como un cómputo en pixeles de la totalidad de la región, para así calcular el porcentaje de área protegida existente.

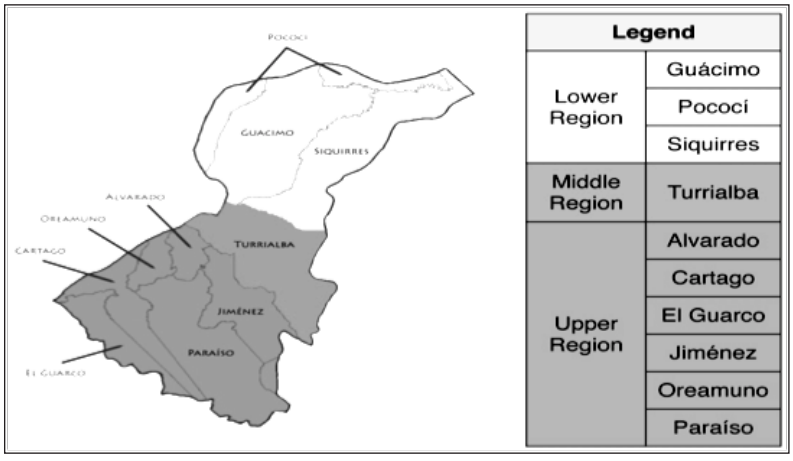


Fig. 1 Cuenca del Río Reventazón dividida en regiones alta, media y baja, sobre la base de divisiones de altitud y divisiones políticas cantonales.

3 Resultados

Los resultados se presentan separados por regiones alta, media y baja de la cuenca del Río Reventazón. La información compilada y sistematizada se dividió de acuerdo a cada indicador; a saber: Hidrología, Ambiente, Vida y Política.

3.1 Indicador de Hidrología (H)

El indicador de Hidrología abarca todos los aspectos hídricos de la Cuenca. Se presentan los resultados de los dos sub-indicadores: calidad y cantidad de agua.

3.1.1 Cantidad del Agua

La Tabla 1 resume el promedio de Disponibilidad de Agua per cápita por año para las tres regiones, a largo plazo (1954-2005) y a corto plazo (2000-2005), considerando como población de referencia la totalidad de la población de las tres regiones en 2005.

Tabla 1 Promedio de disponibilidad de agua (m3/s) de las estaciones de medición en las tres regiones de la Cuenca del Río Reventazón.

			Largo Plazo (1954-2005)		Corto Plazo (2000-2005)	
Región	**Población (2005)**	**Estaciones de control**	**Tasa flujo agua (m^3/s)**	**D_A Regional (m^3/s/ persona*año)**	**Tasa flujo agua (m^3/s)**	**D_A regional (m^3/ s/persona*año)**
Alta	311436	La Troya	9,39	15 136	11,40	19 801
		Palomo	37,29		41,85	
		Angostura	102,80		142,30	
Media	49854	Guayabo	111,24	58 140	115,00	60 105
Baja	85789	Pascua	149,75	132 427	162,50	120 094
		Hamburgo	210,50		164,20	

La Tabla 2 muestra los puntajes del parámetro de Presión (variación porcentual de la Disponibilidad de Agua a largo y a corto plazo); estos son 1,00 para la región alta, 0,75 para la región media y 0,50 para la región baja. El parámetro Estado se basó en los valores de Disponibilidad de Agua a largo plazo; las tres regiones superaron los 6.800 m^3/año/persona, que es el estándar recomendado, por lo que se asignó un puntaje de 1,00 a las tres regiones. Para el parámetro Respuesta no se obtuvo la suficiente información cuantitativa sobre la eficiencia del uso del agua, por lo cual se usaron valores sustitutivos tomados del estudio preliminar, que fueron de 1,00 (Grupo de Hidrología, 2009). Los resultados promedio del ISC indicaron que la región alta tiene un puntaje de 1,00; la región media 0,92, y la región baja 0,83.

Tabla 2 Valores calculados y sustitutivos de cantidad de agua en las tres regiones de la Cuenca del Río Reventazón.

RESULTADOS CUANTITATIVOS DE HIDROLOGÍA							
Región	Presión		Estado		Respuesta		Puntaje Promedio ISC
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	
Alta	34,1%	1,00	15136	1,00	Excelente	1,00	1,00
Media	4,3%	0,75	58140	1,00	Excelente	1,00	0,92
Baja	-6,5%	0,50	132427	1,00	Excelente	1,00	0,83
Total							0,92

3.1.2 Calidad de Agua

Solo se cuentan con datos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) entre 2000 y 2005. Por lo tanto, para calcular el parámetro de Presión, en lugar de usar la variación del promedio a corto plazo con respecto al promedio a largo plazo, se usó la variación de DBO5 de 2005 con respecto a la de 2000. El resultado de ese cálculo se aplicó por igual a las tres regiones de la cuenca. El DBO5 es de 1,87 mg/l para 2000 y de 1,42 mg/l para 2005, por lo cual la variación $\Delta 2$ es de -24,3%, dando un puntaje 1,00.

En el parámetro de Estado se usó el DBO5 para el año 2000 y se aplicó por igual a las tres regiones. Según lo establecido, el valor de 1,87 mg/l corresponde a un puntaje de 0,75. En cuanto a Respuesta, se fijó un puntaje de 0,50 para el nivel de mejoramiento de la cuenca en cuanto a tratamiento y eliminación de aguas residuales (Grupo de Hidrología, 2009). Los promedios finales del ISC para todas las regiones fueron de 0,75. En la Tabla 3 se presentan los resultados cualitativos de Hidrología.

Tabla 3 Valores calculados y sustitutivos para calidad de agua en las tres regiones de la Cuenca del Río Reventazón.

RESULTADOS CUALITATIVOS DE HIDROLOGÍA							
Región	Presión		Estado		Respuesta		Puntaje Promedio ISC
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	
Alta	24,3%	1,00	1,87	0,75	Regular	0,50	0,75
Media					Regular	0,50	0,75
Baja					Regular	0,50	0,75
Total							0,75

3.2 Indicador de Medio Ambiente (E)

Según la Tabla 4, para parámetro Presión las regiones alta y baja tuvieron un puntaje de 0,75, por tener muy buenos valores en el IPA; la región media obtuvo un puntaje de 0,50. Para el indicador de Estado, la región alta y la baja tienen alrededor de un 28% de su área cubierta por vegetación natural, correspondiente a un puntaje de 0,75; la región media sobresalió con más de un 40% de su área cubierta por vegetación natural, obteniendo un puntaje de 1,00. Para el parámetro Respuesta, evaluando la evolución de los parámetros ambientales, la variación porcentual de las tierras protegidas entre los años 2000 y 2005 indicó para la región alta un valor del 18,9%, correspondiente a un puntaje de 0,75; las otras dos regiones obtuvieron un puntaje de 1,00. Los promedios finales del ISC muestran puntajes altos, de 0,83, para las regiones media y baja, en tanto que la región alta obtuvo un puntaje levemente inferior, de 0,75.

Tabla 4 Valores calculados para el indicador ambiental en las tres regiones de la Cuenca del Río Reventazón.

RESULTADOS AMBIENTE							
Región	**Presión**		**Estado**		**Respuesta**		**Puntaje Promedio ISC**
	Valor	**Puntaje**	**Valor**	**Puntaje**	**Valor**	**Puntaje**	
Alta	2,81	0,75	29,73%	0,75	18,9%	0,75	0,75
Media	9,63	0,50	59,17%	1,00	20,8%	1,00	0,83
Baja	4,76	0,75	27,28%	0,75	35,8%	1,00	0,83
Total							0,81

3.3 Indicador de Vida (L)

En la Tabla 5 se observa que las regiones alta y media obtuvieron puntajes de 0,50 para el parámetro de Presión, en tanto que la región baja obtuvo un puntaje de 0,75. Para el parámetro de Estado, las regiones media y baja recibieron un puntaje de 0,50, y la región alta obtuvo un puntaje de 0,75. En cuanto al parámetro de Respuesta, que es la variación porcentual del IDH, las tres regiones obtuvieron puntajes relativamente insatisfactorios, de 0,50. Los puntajes promedios finales del ISC para la región alta y media fueron de 0,58, en tanto que el puntaje más bajo correspondió a la región media: 0,50.

Tabla 5 Valores calculados para el indicador de Vida en las tres regiones de la Cuenca del Río Reventazón.

RESULTADOS VIDA							
Región	**Presión**		**Estado**		**Respuesta**		**Puntaje Promedio ISC**
	Valor	**Puntaje**	**Valor**	**Puntaje**	**Valor**	**Puntaje**	
Alta	-0,6	0,50	0,77	0,75	3,77	0,50	0,58
Media	-2,3	0,50	0,67	0,50	3,88	0,50	0,50
Baja	5,9	0,75	0,63	0,50	9,24	0,50	0,58
Total							0,56

3.4 Indicador de Políticas (P)

En la Tabla 6 se muestra que todas las regiones obtienen puntajes igualmente adecuados para el parámetro de Presión: 0,75. Los resultados de Estado de Políticas se basan en encuestas realizadas con respecto a marcos jurídicos e institucionales. Como no se pudo obtener suficiente información para el parámetro de Respuesta, se usaron valores sustitutos para calcular puntajes medios. Para los puntajes de Estado y Respuesta se asignaron valores de 0,75, lo cual arrojó puntajes medios finales de 0,75 para cada región (Grupo de Políticas, 2009).

Tabla 6 Valores calculados y sustitutivos para el indicador de Política, en las tres regiones de la Cuenca Río Reventazón.

RESULTADOS POLITICAS							
Región	**Presión**		**Estado**		**Respuesta**		**Puntaje Promedio ISC**
	Valor	**Puntaje**	**Valor**	**Puntaje**	**Valor**	**Puntaje**	
Alta	4,25	0,75	Bueno	0,75	N/A	0,75	0,75
Media	4,27	0,75	Bueno	0,75	N/A	0,75	0,75
Baja	6,70	0,75	Bueno	0,75	N/A	0,75	0,75
Total							0,75

3.5 Índice Sostenibilidad de Cuencas (ISC) Global

La tabla 7 muestra los puntajes promedios, así como los puntajes medios, de parámetros para cada región y para la totalidad de la cuenca. Puede verse que los promedios finales de cada región son similares (0,74, 0,73 y 0,74, para las regiones alta, media y baja, respectivamente). Entre todos los indicadores, el puntaje relativo más bajo para esta cuenca fue de 0,50, el cual recayó sobre el indicador de Vida. La región alta obtuvo buenos resultados en todos los indicadores restantes, en tanto que la región media necesita mejorar en el parámetro de presión ambiental, y la región baja tiene un problema con la presión hidrológica cuantitativa.

Tabla 7 Compendio de los resultados por región, según indicador y parámetro del ISC, Cuenca del Río Reventazón.

Región	**Indicador**	**Puntaje Presión**	**Puntaje Estado**	**Puntaje Respuesta**	**Puntaje Indicador**		**PUNTAJE FINAL REGIÓN**
Alta	Cantidad Agua	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,74
	Calidad Agua	1,00	0,75	0,50	0,75		
	Ambiente	0,75	0,75	0,75	0,75		
	Vida	0,50	0,75	0,50	0,58		
	Politica	0,75	0,75	0,75	0,75		
	PUNTAJE PROMEDIO	0,80	0,80	0,70			
Media	Cantidad Agua	0,75	1,00	1,00	0,92	0,83	0,73
	Calidad Agua	1,00	0,75	0,50	0,75		
	Ambiente	0,50	0,75	1,00	0,83		
	Vida	0,50	0,50	0,50	0,50		
	Politica	0,75	0,75	0,75	0,75		
	PUNTAJE PROMEDIO	0,70	0,80	0,75			

Región	Indicador	Puntaje Presión	Puntaje Estado	Puntaje Respuesta	Puntaje Indicador		PUNTAJE FINAL REGIÓN
Baja	Cantidad Agua	0,50	1,00	1,00	0,83	0,79	0,74
	Calidad Agua	1,00	0,75	0,50	0,75		
	Ambiente	0,75	0,75	1,00	0,83		
	Vida	0,75	0,50	0,50	0,58		
	Politica	0,75	0,75	0,75	0,75		
	PUNTAJE PROMEDIO	0,75	0,75	0,75			
PUNTAJE TOTAL PARÁMETROS		0,75	0,78	0,73			

4 Conclusiones

Los resultados indican que existen problemas en cada región. Los puntajes generalmente bajos del indicador de Vida demuestran las condiciones de vida se ven relativamente insatisfechas en toda la cuenca. El bajo valor del parámetro de Respuesta de Calidad Hidrológica apunta hacia la necesidad de mejorar las plantas de tratamiento y eliminación de aguas negras en la cuenca. El resultado del parámetro de Presión Cuantitativa Hidrológica indica la posibilidad de que en el futuro se necesite incrementar la disponibilidad de agua en la región baja. El puntaje del parámetro de Presión Ambiental implica que la región media padece los efectos de las actividades agrícolas y humanas.

A través de COMCURE, la cuenca del Río Reventazón debe promover proyectos para mejorar la sostenibilidad de la cuenca. El momento actual es decisivo para comenzar a realizar esfuerzos sin precedentes para restaurar la misma, ya que los resultados obtenidos apuntan no sólo a las zonas más problemáticas, sino también las que no muestran signos de mejoramiento futuro, a menos que se adopten medidas de intervención.

5 Recomendaciones

- Ampliar los sistemas de tratamiento y eliminación de aguas negras y residuales para zonas urbanas y rurales, a fin de reducir la contaminación por aguas negras, jabonosas y por agroquímicos.
- Continuar la labor que está realizando COMCURE con agricultores locales, a través de proyectos de agricultura sostenible en la zona de la cuenca.
- Agregar sistemas de recolección de desechos sólidos y mejorar las tecnologías de tratamiento de tales desechos. También sería conveniente capacitar a los habitantes de la cuenca sobre adecuadas prácticas de gestión y reciclaje de desechos.

REFERENCIAS

Arce, Rafael. (2004) *Resumen Diagnóstico Cuenca Reventazón*. Consultoría del Dr. Rafael Arce para Proyecto Redes Comunitarias para la Gestión del Riesgo, Costa Rica: www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/docs/2655/2655.pdf.

Atlas Cantonal de Costa Rica. *Guías de Costa Rica*: www.mapasdecostarica.info/atlascantonal/atlas_cantonal.htm.

Chaves, H., y Alipaz, S. (2007) An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Basin Sustainabilty Index. *Water Resource Management*, 21, 883-895.

Chaves, H. (2009) *Desarrollo y Validación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) para la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá*. Autoridad del Canal de Panamá. Informe Técnico No. 269731.

Chaves, H. (2009) *Índice de Sostenibilidad de Cuencas en América Latina*. http://helpforum.ning.com/forum/topics/watershed-sustainability-index.

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2009) *Copia de Caudales Río Reventazón-1*.
Grupo de Hidrología. (2009) *ISC Hydrology Results Presentation*. Cartago, Costa Rica: COMCURE.
Grupo de Políticas. (2009) *ISC Policy Results Presentation*. Cartago, Costa Rica: COMCURE. HELP 2009. Tomado en 2009 de UNESCO: http://portal.unesco.org.
Hezri, A., y Dovers, R. (2006) Sustainability indicators, policy and governance: issue for ecological economics. *Ecological Economics*, 60, 86-99.
Iglesias, A. (2003) *Integrated System for the Treatment y Recycling of Wastewater in Latin America: Reality and Potential*. IDRC.
Information about Reventazón-Parismina. (2007) Taken from the October 2009 issue of *Hydrology for the Environment, Life and Policy*: http://helpforum.ning.com/page/information-about-1.
Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2005) *C01 Población estimada cerrada según provincia, cantón y distrito 1999 - 2005***.** Tomado en octubre de 2009 de www.inec.go.cr/.
Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2005) *Extensión en has de las áreas silvestres protegidas según categoría***.** Tomado en octubre de 2009 de www.inec.go.cr/.
Ness, B., Urbel-Piirsalu, E, Anderberg, S., y Olsson, L. (2007) Categorizing tools for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 60, 498-508.
Parris, T., y Kates, R. (2003) Characterizing and measuring sustainable development. *Annual Environmental Resources*, 28, 13.11-31.28.
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - Costa Rica (PNUD-COSTA RICA), Universidad de Costa Rica - Escuela de Estadística (UCR). (2007) *Atlas del Desarrollo Humano Cantonal de Costa Rica 2007*. San José, C.R.: PNUD.
PNUD - *Informes sobre el Desarrollo Humano*. http://hdr.undp.org/en/statistics/data/.

El Índice de Sostenibilidad de Cuencas en la cuenca del Río Limarí en Chile

NICOLE KRETSCHMER[1], ANJA WENDT[2], RICARDO OYARZUN[1,3] Y HENRIQUE CHAVES[4]

1 Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, Universidad de La Serena, La Serena, Chile
nicole.kretschmer@ceaza.cl
2 Technische Universität Dresden, Fakultät Forst-, Geo-, Hydrowissenschaften, Fachrichtung Wasserwesen, Dresden, Alemania
3 Departamento Ingeniería de Minas, Universidad de La Serena, La Serena, Chile
4 Faculdade de Tecnologia – EFL, Universidade de Brasília, Brasilia-DF, Brasil

Resumen Este documento resume los resultados de la aplicación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) en la cuenca del Limarí (13.356 km^2), situada en el norte semiárido de Chile. El propósito del índice es el de evaluar la sostenibilidad de una cuenca, tomando en cuenta asuntos tanto hidrológicos, como sociales, ambientales, de subsistencia y de política. Debido a que el índice utiliza una función de presión-estado-respuesta, se consideró usar tanto un período de estudio a largo plazo, así como un período reciente. El período estudiado fue entre los años 2000 y 2009. La cuenca del Limarí se divide en 5 sub-cuencas de entre 1.000 y 4.300 km^2, que casi coinciden con los límites administrativos de los municipios de la provincia de Limarí. El ISC general de la cuenca del Limarí fue de 0,63 (de 1,0), que corresponde a un nivel intermedio de sostenibilidad. En cuanto a las sub-cuencas, el peor resultado del ISC fue de 0,51 (límite inferior del nivel intermedio). Los cuellos de botella responsables de la disminución del ISC en la cuenca fueron los indicadores de la hidrología y de los medios de subsistencia, y las acciones de gestión se deben centrar en los mismos para mejorar la sostenibilidad de la cuenca.

Palabras clave Índice de Sostenibilidad; Limarí; apoyo a la toma de decisiones; hidrología; medio ambiente; vida; política

1 Introducción

A pesar de que la gestión integrada del agua se discute fervientemente en Chile desde finales de los años 90, ningún enfoque integral y sistemático se ha implementado aún. Recientemente una propuesta más elaborada de la agencia ambiental (CONAMA anteriormente, actualmente el Ministerio del Medio Ambiente) ha sido entregada para promover y aplicar la gestión integrada del agua a la escala de cuenca (Conama, 2007), pero hasta ahora no existe más que un marco general. Además, el Ministerio del Medio Ambiente ha desarrollado un marco de normas secundarias de calidad del agua superficial (Conama, 2004), que ahora está de nuevo en fase de desarrollo y evaluación.

A finales de 2008, la Región de Coquimbo inició un nuevo enfoque para una plataforma de discusión sobre los problemas del agua: La Mesa Redonda Regional del Agua. A través de tres talleres regionales con alta participación de los interesados, se formuló un acuerdo con objetivos claros sobre lo que esta "entidad del agua" debe abordar. También en este caso, un enfoque integrado era la preocupación.

Los tomadores de decisiones deben definir las áreas prioritarias a partir del desarrollo de la zona, por lo tanto, el cálculo y el análisis de un índice sobre la gestión sostenible es esencial. Como la cuenca del Limarí es la principal región de producción agrícola en el centro-norte de Chile, es importante proporcionar a los actores de la cuenca, así como los tomadores de decisiones con nueva información de todos los datos recogidos en diferentes áreas.

2 Índice de Sostenibilidad de Cuencas

El Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) es un indicador integrado basado en la hidrología de la cuenca (H), ambiente (E), vida (L) y políticas hídricas (P), y respuestas (Chaves, 2007). En el pasado, estos aspectos eran a menudo tratados por separado y no de manera integrada. En general, los índices integrados se usan para propósitos de planeación. (Chaves, 2007). Por ende, el ISC fue desarrollado para proponer un índice que toma en cuenta todos los factores importantes que afectan las sostenibilidad del agua.

Adicional a esto, el ISC responde a la dinámica del proceso de desarrollo entre estos indicadores usando una función de presión-estado-respuesta.

Tabla 1 Indicadores y parámetros del ISC (adaptado de Chaves, 2007).

Cada parámetro recibe una puntuación (0; 0,25; 0,50; 0,75 ó 1).

Indicadores	***Presión***	***Estado***	***Respuesta***
Hidrología	Variación en la disponibilidad de agua per cápita en el período analizado, en relación con el promedio a largo plazo	Disponibilidad de agua per cápita en la cuenca (promedio a largo plazo)	Mejora de la eficiencia del uso del agua en el período analizado
	Variación de DBO_5[1] en la cuenca en el período analizado	DBO_5 en la cuenca (promedio a largo plazo)	Mejoras en el tratamiento/ eliminación de aguas residuales en el período analizado
Ambiente	IPA[2] en la cuenca (Rural e urbano) en el periodo analizado	Porcentaje de área de cuenca con vegetación natural	Evolución en la conservación de la cuenca (porcentaje de áreas protegidas, BMPs[3]) en el periodo analizado
Vida	Variación en ingresos per cápita en la cuenca en el periodo analizado	IDH[4] de la cuenca (ponderado por la población del condado)	Evolución del IDH en la cuenca en el periodo analizado
Política	Variación en el IDH-Educación en la cuenca en el periodo analizado	Capacidad Institucional de la Cuenca en Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)	Evolución de los gastos de la GIRH de la cuenca en el periodo analizado.

[1]Demanda Biológica de Oxígeno, [2]Índice de Presión Ambiental, [3]Mejores Prácticas de Manejo, [4]Índice de Desarrollo Humano

Finalmente, todos los indicadores son ponderados con el mismo peso al calcular el ISC, siguiendo la siguiente función:

$$ISC\ (0\text{-}1) = (H + E + L + P) / 4 \quad (1)$$

El puntaje del ISC obtenido puede ser clasificado de acuerdo a los siguientes tres grupos de evaluación de sostenibilidad de la cuenca: Bajo ($ISC < 0,5$), Intermedio ($0,5 \leq ISC \leq 0,8$), o Alto ($0,8 < ISC$).

3 Aplicación a la Cuenca Limarí

La provincia de Limarí se localiza en el centro-norte semiárido de Chile (31° S). Aquí, el promedio anual de precipitaciones normales no excede los 120 mm, mientras que la evapotranspiración potencial supera los 1000 mm. Además, la región tiene que hacer frente a fuertes variaciones inter- e intra-anuales en la disponibilidad de agua. Sin embargo, la principal actividad en la cuenca (13.356 km^2) es la agricultura de regadío, que es posible a través de un sistema hidrológico y de gestión regulado y coordinado. Está físicamente compuesta por tres embalses, con capacidad conjunta de 1000 MCM, y por la red de canales asociados. Una parte importante de la superficie regada dedica su producción al cultivo de frutas para la exportación; sólo una pequeña parte se utiliza para cultivos anuales; la superficie cultivada por debajo de la red de canales suma a un total de 65.000 ha (Kretschmer, *et al*., 2008).

Debido a que la gestión de cuencas a nivel local y regional es más eficaz en las cuencas de hasta 2500 km² (Chávez, 2007), este es el límite superior sugerido para la aplicación del ISC en la estimación de la sustentabilidad de la cuenca.

En la cuenca del Limarí también varían extremadamente las condiciones climáticas, económicas y ambientales entre las zonas montañosas en el este y las zonas costeras en el oeste. Además, las fronteras políticas son muy similares a las principales sub-cuencas. Por lo tanto, se decidió dividir la cuenca del Limarí de acuerdo a las comunas en las siguientes cinco sub-cuencas: Ovalle: 3558 km², Río Hurtado: 2180 km², Monte Patria: 4335 km², Combarbalá: 2283 km², y Punitaqui: 1001 km² (Fig. 1).

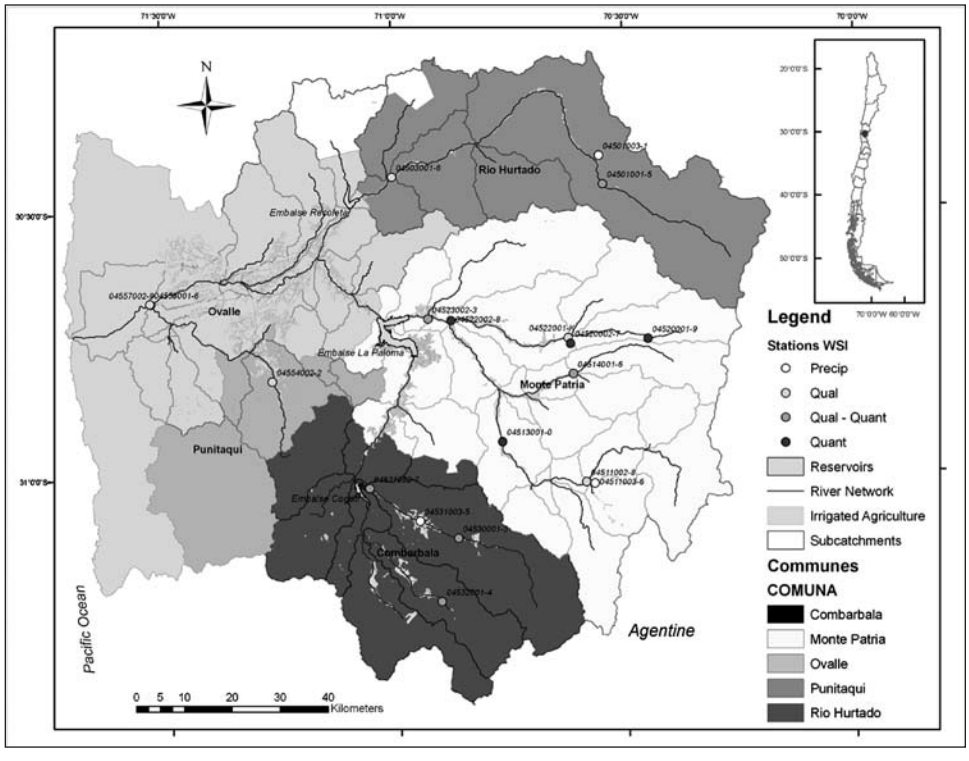


Fig. 1 Cuenca Limarí y sus sub-cuencas, sus 5 comunas diferentes y las estaciones de monitoreo utilizadas.

A pesar de que dos municipios son más grandes que sus sub-cuencas (Ovalle y Punitaqui) debido a la naturaleza de los datos de recopilación de información de vida y de políticas, utilizamos los límites administrativos para estos indicadores.

Chaves y Alipaz (2007), sugieren considerar un período de 5 años de estudio debido a que el IDH (Índice de Desarrollo Humano) y otros datos de similares son publicados cada cinco años, por lo general. En Chile, sin embargo, la mayoría de las recolecciones de datos tienen un intervalo de 10 años, (por ejemplo, el censo agrícola, censo de población).

Además, la zona de la cuenca del Limarí se encuentra en un clima semiárido que en algunos años es fuertemente influenciado por los efectos de "El Niño" o "La Niña". Así que la decisión final fue de analizar un período de 10 años, de 2000 a 2009, para obtener un mejor promedio de los datos evaluados (incluyendo los años de escasez y superávit de agua) y que casi coincide con los dos últimos censos agrícolas (1997, 2007).

Para el cálculo del parámetro de presión, uno tiene que mirar el cambio entre el promedio a largo plazo y el período de estudio real. El promedio a largo plazo depende de la disponibilidad de los datos, que varía entre 1960-2009, dependiendo del tipo de datos analizados. El período más breve de datos a largo plazo fue dado por los datos de calidad del agua. Si existían datos accesibles, se utilizó en general el período comprendido entre 1972-2009.

4 Indicador de Hidrología y resultados finales

A modo de ejemplo, el cálculo de la puntuación ISC por el indicador de Hidrología se muestra más detalladamente. El indicador de la hidrología se compone de dos conjuntos de parámetros: uno relativo a la cantidad de agua y el otro a la calidad del agua. El ISC de hidrología resultante es simplemente el promedio de los parámetros de cantidad y de calidad. El parámetro de presión referente a la cantidad de agua muestra la variación de la disponibilidad de agua per cápita por año (en m^3) en el período estudiado en relación con el promedio a largo plazo, calculado con la siguiente ecuación:

$$\Delta disp.Q = Q2 - Q1 Q1 * 100 \qquad (2)$$

donde: $\Delta disp.Q$ = variación en la disponibilidad de agua per cápita en la cuenca en el periodo, en relación con el promedio a largo plazo (%); $Q2$ = promedio de la disponibilidad de agua per cápita en la cuenca en el periodo de estudio (2000-2009); y $Q1$ = promedio de la disponibilidad de agua per cápita en la cuenca en el periodo histórico (1972-2009).

Tabla 2 Descripción de la cantidad de niveles de presión y el puntaje ISC.

Nivel	Puntaje ISC
$\Delta disp.Q < -20\%$	0,00
$-20\% \leq \Delta disp.Q < -10\%$	0,25
$-10\% \leq \Delta disp.Q < 0\%$	0,50
$0\% \leq \Delta disp.Q < +10\%$	0,75
$+10\% \leq \Delta disp.Q$	1,00

El cálculo de los parámetros de hidrología se hizo con los datos de las diferentes estaciones de monitoreo que fueron seleccionados para este estudio, señaladas en la Fig. 1, y mirando la gestión de los yacimientos, ya que las sub-cuencas fueron consideradas por separado. Sin tener la posibilidad

de entrar en detalle, se obtuvieron los resultados mirando los datos de las aguas superficiales y subterráneas (Fuente: DGA y la información de las autoridades del Río), así como los datos de población (INE: Instituto Nacional de Estadística) (ver Tabla 3).

Tabla 3 ISC del indicador de Hidrología por sub-cuenca (Puntuaciones e ISC finales).

Sub-Cuenca	*Presión Cantidad/Calidad*	*Estado Cantidad/Calidad*	*Respuesta Cantidad/Calidad*	*ISC resultado*
Combarbala	0.00 / 0.50	1.00 / 1.00	0.25 / 1.00	0.63
Rio Hurtado	0.75 / 0.75	1.00 / 1.00	1.00 / 1.00	0.92
Monte Patria	0.50 / 0.75	1.00 / 1.00	0.75 / 0.25	0.71
Ovalle	0.25 / 0.50	0.25 / 0.50	0.75 / 1.00	0.54
Punitaqui	0.25 / 0.50	0.25 / 0.50	0.25 / 0.25	0.38

La respuesta de la presión de cantidad ha sido evaluada analizando la gestión del agua de las diferentes sub-cuencas de los ríos/canales correspondientes y observando el desarrollo de técnicas de irrigación y las áreas correspondientes de riego, analizando el censo agrícola de 1997 y 2007. En la Tabla 3 se puede ver con claridad cómo los resultados son diferentes en las diferentes cuencas.

En cuanto a la parte de la calidad del agua del indicador ISC, normalmente se hace referencia a la DBO_5 como parámetro de calidad a considerar, asumiendo que este parámetro está disponible en las principales partes del mundo. Lamentablemente, el mismo no se toma en consideración en el programa de monitoreo de la DGA (Dirección General de Aguas), por lo que, basado en un estudio previo, la CE (Conductividad Eléctrica) fue elegido como parámetro a considerar en toda la cuenca. Esto requirió una nueva adaptación de las puntuaciones del ISC. La puntuación de la respuesta se evaluó analizando las inversiones en las plantas de tratamiento de aguas residuales (fuente: SISS) y en la canalización (fuente: FNDR).

De la misma manera, mirando los parámetros correspondientes para el Medio Ambiente, la Vida y la Política, las puntuaciones ISC han sido adaptadas de Chaves y Alipaz, 2007. Para analizar la respuesta de la política nos fijamos en los datos de la Comisión Nacional de Riego (CNR), que subsidia las inversiones en técnicas de riego, el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), que invierte en la instalación de agua potable, y el Fondo Sectorial del MOP (Ministerio de Obras Públicas), que también apoya con instalación de agua potable, principalmente en las zonas rurales. Como hemos calculado las puntuaciones y los parámetros para todas las sub-cuencas del Limarí, también fue posible estimar el ISC global. La Tabla 4 muestra los resultados.

Tabla 4 ISC final por sub-cuenca y para la cuenca entera.

Indicador de Sub-cuenca	**ISC Combarbala**	**ISC Rio Hurtado**	**ISC Monte Partia**	**ISC Ovalle**	**ISC Punitaqui**	**ISC Cuenca Limarí**
Hidrología	0.63	0.92	0.71	0.54	*0.38*	*0.54*
Ambiente	0.83	0.83	0.75	0.67	0.75	0.74
Vida	0.67	0.58	*0.42*	*0.50*	*0.33*	*0.58*
Política	0.67	0.67	*0.50*	0.59	0.58	0.67
Resultados	***0.7***	***0.75***	***0.59***	***0.57***	***0.51***	***0.64***

Adicionalmente, calculamos el ISC total ponderado por área para la cuenca Limarí a partir de los ISC de las subcuencas. Como factor de ponderación se utilizó el área superficial de cada sub-cuenca, como se hizo anteriormente para el cálculo del ISC para la cuenca del Canal de Panamá (UNESCO, 2008).

$$ISC\ (ponderada\ por\ área) = \frac{\sum [(sub\text{-}cuenca) * Área\ (sub\text{-}cuenca)]}{Área\ (total)} \quad (3)$$

Como resultado total se obtuvo un ISC de 0.63 para la cuenca Limarí, puntuación ligeramente diferente al resultado obtenido en la Tabla 4, debido al redondeo. En términos de sostenibilidad, esta puntuación indica una sostenibilidad intermedia.

5 Discusión

Para una amplia discusión, los resultados intermedios de las puntuaciones de presión / estado / respuesta son de gran importancia, especialmente para los tomadores de decisiones, con el fin de poder determinar los cuellos de botella. Sin embargo, al estudiar los indicadores de manera individual, se encontró que los cuellos de botella son en general los indicadores de Hidrología y de Vida, que resultan estar en el límite inferior de la sostenibilidad intermedia, justo por encima de 0,5. Al entrar en detalle en las sub-cuencas/municipalidades, es obvio que el cálculo de las pequeñas unidades espaciales es muy valioso. De hecho, tenemos un ISC para la hidrología y vida de Punitaqui que son mucho más bajos, indicando una baja sostenibilidad. El puntaje más alto representa la sub-cuenca del Río Hurtado, principalmente debido al alto ISC obtenido en el indicador de Hidrología, que resulta ser el único en sostenibilidad alta. Esto se debe a un clima diferente, a una mejor gestión en esta sub-cuenca desregulada, así como a la menor cantidad de habitantes (2,65% de la población total de la cuenca). No obstante, aquí también el indicador de vida obtuvo una puntuación baja. Entrando en detalles, el estudio de los cuellos de botella es muy diferente al mirar las variables de presión, estado y respuesta de las diferentes sub-cuencas. La variable de respuesta está mejor representada en la cuenca Hurtado y Combarbalá (ambas cuencas aguas arriba) y peor representada en Punitaqui y Monte Patria; la presión es mayor en Ovalle y Punitaqui. Esto demuestra que la presión y la respuesta no coinciden como probablemente fuere necesario.

6 Conclusión

El ISC permite analizar en detalle las cinco diferentes áreas de manera integrada, lo cual es importante para un desarrollo sostenible y muestra claramente las áreas en donde es más necesario tomar acción. Es aún necesario mejorar la distribución de la información. Gracias a la nueva ley de transparencia en Chile, todas las instituciones públicas están obligadas a proporcionar su información; no obstante, al trabajar con ellas quedó claro una vez más que dentro de las instituciones la gestión de datos e información debe ser a menudo mejorada, especialmente cuando se habla de información histórica.

REFERENCIAS

Chaves, H.; Alipaz, S. (2007) An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index, *Water Resources Management* 21: 883-895.

Kretschmer N., Corso S., Alvarez P. (2008) *Water allocation strategies and their implications – A Drought in the Limarí Watershed, Chile*; Conference proceeding: The International Water Resource Association XIIIth World Water Congress in Montpellier, Francia, septiembre 2008.

UNESCO. (2008) *Evaluación Preliminar de la Aplicación y Cálculo del Índice de Sostenibilidad de Cuenca en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá*, Documento Técnico del PHI-LAC N° 12.

Evolución de la educación ambiental para la conservación del recurso hídrico de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

ROLANDO CHECA CAMPOS
Sección de Manejo de Cuenca, Autoridad del Canal de Panamá, Panamá
rcheca@pancanal.com

Resumen Este trabajo presenta la evolución de las experiencias de educación ambiental en los ámbitos formales, no formales e informales, vinculadas a la conservación de los recursos naturales, en especial el hídrico, en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, así como en el ámbito institucional de la Autoridad del Canal de Panamá, a partir del año 2000. Un hecho histórico fundamental para el desarrollo de la educación ambiental en esta región fue la transferencia de la vía interoceánica, administrada por la agencia norteamericana conocida como Comisión del Canal de Panamá, a manos panameñas, el 31 de diciembre de 1999, conformándose así la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). La ACP, en conjunto con el Ministerio de Educación (MEDUCA), la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), y la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID), ha fortalecido el eje transversal de educación ambiental a través del Programa Interinstitucional Guardianes de la Cuenca (único en el país), el cual se ha constituido como el programa insignia en esta importante región.

Palabras clave educación ambiental; recurso hídrico; comunidad educativa; cuenca hidrográfica; Autoridad del Canal de Panamá; Guardianes de la Cuenca

1 Introducción

No cabe duda que la historia de la construcción del Canal de Panamá es rica en documentos técnicos, evidencias fotográficas y fílmicas, y testimonios orales y escritos que muchos de los trabajadores y testigos de la monumental tarea nos dejaron a las siguientes generaciones. Es así que podemos inferir la existencia de acciones de orden conservacionista durante y después de terminada la obra el 15 de agosto de 1914, así como a lo largo de su operación.

En ese sentido, es importante destacar que entre las acciones relevantes que le dieron a los norteamericanos ventaja en la construcción de esta obra, iniciada en 1904, fueron aquellas que se encaminaron al saneamiento ambiental de las ciudades de Panamá y Colón, y de los poblados y sitios de trabajo aledaños a la vía, con el fin de combatir los mosquitos y, por ende, erradicar la fiebre amarilla, entre otras enfermedades causadas por este vector.

Estas actividades de saneamiento, en gran medida, se desarrollaron en forma de jornadas de limpieza, orientación y charlas a la población trabajadora y a la comunidad. Otros elementos de conservacionismo y ligados a temas ecológicos se incorporaron a través de las oleadas de investigadores que desarrollaron investigaciones científicas, de diversos tipos, en sitios cercanos al Canal.

La educación ambiental, surgida como respuesta a la crisis ambiental, debe entenderse como un proceso de aprendizaje que debe facilitar la comprensión de las realidades del medio ambiente, y del proceso socio histórico que ha conducido a su actual deterioro. Su propósito es que cada individuo posea una adecuada conciencia de dependencia y pertenencia con su entorno, que se sienta responsable de su uso y mantenimiento, y que sea capaz de tomar decisiones en este plano. (Alea, 2005).

Es en el año de 1972 cuando el concepto educación ambiental adquiere su patente internacional, a consecuencia de la Declaración de Estocolmo. Mientras en los países desarrollados tomaba un gran auge, en América Latina fue adquiriendo sentido y aplicación de manera lenta, esto bajo la influencia de múltiples factores, entre ellos: el estado de subdesarrollo de la mayoría de los países de la región, los sistemas educativos, la economía regional, la conceptualización y visión fragmentada de lo humano, lo social y lo ambiental, entre otros elementos.

En lo que respecta a la educación ambiental en torno al Canal de Panamá, es importante anotar cuatro aspectos clave en esta evolución histórica:

- La Autoridad del Canal de Panamá surge como institución estatal, responsable de la administración de la vía interoceánica, mediante el Título XIV de la Constitución Política de la República de Panamá;
- La educación ambiental en Panamá se oficializa como eje transversal por medio de la Ley N°10, de junio de 1992, por la cual se adopta la educación ambiental como una estrategia nacional para conservar y desarrollar los recursos naturales y preservar el ambiente.
- La promulgación de la Ley 44, de agosto de 1999, por la cual se aprobaron los límites de la Cuenca Hidrográfica del Canal; la cual fue derogada en el 2006. Aquí se incluía parte de los territorios de la provincia de Coclé, así como otros de la provincia de Colón, que eran considerados de "potencial hídrico" para el Canal; y
- El significado del concepto educación ambiental ha ido cambiando en la medida que diversos autores, reuniones y encuentros internacionales, entre otros, fueron dándole forma y consideraciones más precisas.

Partiendo de estos hechos y, luego de buscar una aproximación a la utilización y puesta en práctica del concepto educación ambiental en las operaciones o actividades propias del Canal, sabemos que en la práctica se inicia es a partir del año 2001. No obstante, es importante mencionar que desde 1997, aún bajo la administración de la Comisión del Canal de Panamá, un equipo humano trabajó con las poblaciones aledañas a las riberas del Canal para evitar el hurto de equipo de señalización a la navegación (entre ellos los paneles solares, baterías y cables, entre otros), y a la par, utilizando algunas herramientas con las que cuenta la educación ambiental para sensibilizar, formaron un equipo interinstitucional que brindaba información y orientación para el cuidado del medio ambiente. Es decir, las actividades que dan origen a la gestión actual surgen en un contexto y objetivos no relacionados a la educación ambiental.

En el año 2000 inicia formalmente funciones la División de Administración Ambiental, como una unidad operativa clave que velaría por el cumplimiento de la responsabilidad constitucional de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), de la administración, mantenimiento, uso y conservación del recurso hídrico de la cuenca hidrográfica del Canal.

Desde esta División, a partir del año 2001, en su Sección de Manejo de Cuenca y Coordinación Interinstitucional, se fortalece y da inicio formal a la Unidad de Educación Ambiental, cuyas responsabilidades se orientaron a vigorizar las relaciones con el Ministerio de Educación (MEDUCA) y la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), y con otros actores institucionales y organizaciones no gubernamentales, a facilitar talleres y seminarios de corta duración a los docentes de las escuelas dentro de la cuenca, a la producción de recursos educativos y de información, a la atención de actividades intramuros; y a la construcción de un modelo de educación ambiental institucional que pudiese articular con otros actores a nivel extramuros, entre otras.

En el 2002 se fortalece el equipo humano de la ACP y se consolidan estrategias con el MEDUCA y la ANAM, y así surge la oportunidad de establecer la plataforma adecuada para compartir conocimientos, experiencias, acciones conjuntas y, de una forma u otra, iniciar la construcción del modelo de educación ambiental para la cuenca del Canal. Así, en marzo de ese año se firma el Memorando de Entendimiento para el desarrollo del Programa de Educación Ambiental "Guardianes de la Cuenca", entre la ACP, la ANAM, el MEDUCA y la USAID, cuyo objetivo es fomentar, conjuntamente con otros actores institucionales, una cultura ambiental que propicie el desarrollo sostenible y el fortalecimiento de las capacidades del capital humano de la comunidad educativa, para la participación efectiva y eficaz en los procesos de conservación del recurso hídrico en la Cuenca Hidrográfica del Canal.

Del año 2003 al 2010 se proyecta una visión y acción enfocadas en vigorizar la gestión educativa para el fortalecimiento de la transversalidad, la interinstitucionalidad y multiculturalidad, de tal manera que tome en cuenta valores, concepciones, creencias, saberes, actitudes y comportamientos de los habitantes de la Cuenca Hidrográfica del Canal, bajo un enfoque ecosistémico, con miras a su inserción en estos procesos y su compromiso de actuación frente a los problemas socio ambientales que amenazan la región.

En este período se hace énfasis en la gestión del conocimiento, dirigido a la formación continua de docentes y administradores de la educación del programa Guardianes de la Cuenca, mediante la realización de jornadas de capacitación y entrenamiento, tales como: seminarios talleres (hasta 40 horas), cursos de alto nivel (con más de 120 horas), diplomados universitarios (más de 200 horas), giras educativas y científicas, y talleres *in situ*, entre otras. Los temas tienen una secuencia lógica, pertinencia y diseño cónsono con los contenidos de los programas educativos vigentes, las realidades locales, y las necesidades e intereses compartidos.

Entre los temas relevantes de la formación continua de este período están:

- Importancia del Canal y su cuenca hidrográfica
- Administración de proyectos y liderazgo ambiental
- Estrategias para el fortalecimiento del programa Guardianes de la Cuenca
- Gestión educativa frente al manejo inadecuado de agroquímicos
- Diplomado universitario en desarrollo sostenible y educación ambiental
- Estrategias para la gestión de los desechos sólidos en la comunidad educativa
- Gestión Integrada del recurso hídrico y educación ambiental
- El cambio climático en la gestión de educación ambiental
- Las áreas protegidas como herramienta didáctica de educación ambiental

En el 2010 se visualiza la necesidad de realizar alianzas con otros actores institucionales para el levantamiento y participación conjunta de una Academia de la Cuenca, espacio de intercambio de conocimiento y plataforma de capacitación virtual de docentes.

La generación de recursos educativos (afiches, manuales, guías, juegos, entre otros) ha sido una fortaleza del equipo humano de la ACP que, desde una perspectiva institucional e interinstitucional, ha posicionado este aspecto como elemento clave para llevarle información y actividades para el aprendizaje a estudiantes y docentes de 153 escuelas dentro de la cuenca; así como a otras en la periferia o zonas vecinales.

Una concepción reconocida de la evolución de la educación ambiental en la cuenca del Canal, a partir de sus alcances y niveles de complejidad funcional, y de aplicación en la realidad institucional y en el territorio, es que se constituye en sí en gestión estratégica, para el logro de la sensibilización, concienciación y participación de los miembros de la comunidad educativa (docentes, estudiantes, administrativos, padres y madres de familia, organizaciones vinculadas al sector, entre otros) en el análisis, reflexión y solución de los problemas socio ambientales; ofreciendo un espacio de conocimientos y experiencias para la implementación de estrategias y acciones para la gestión del desarrollo sostenible.

Otros ejes sustanciales en el desarrollo conceptual y práctico de la gestión estratégica de educación ambiental en la Cuenca se dan a partir del desarrollo del proyecto Nuestro canal y su Cuenca (NUCA), mediante el cual se brindan cursos de emprendurismo y economía ambiental básica a estudiantes del cuarto grado de educación primaria. De igual manera, se fortalecen las misiones y proyectos de corte ambiental, teniendo como base: el análisis de la calidad de agua utilizando equipo básico; la gestión de los desechos sólidos en las escuelas; la gestión del riesgo asociado a inundaciones, en escuelas aledañas a sitios de lago y represas; la reforestación y viveros escolares; y más recientemente, el cooperativismo escolar.

Fig. 1 Feria ambiental.
Fuente: Educación Ambiental, ACP.

A partir del año 2010 se consolida la Red de Educadores Ambientales del Programa Interinstitucional de Guardianes de la Cuenca, cuya misión es velar por el desarrollo de este programa desde la perspectiva de los profesionales participantes, para lo cual se integran ejes como: investigación-acción, publicaciones, congresos y otros eventos afines, así como la asesoría en el diseño curricular de los recursos educativos que se generan en el programa.

La participación y cohesión de los grupos de Guardianes de la Cuenca se ha logrado a través del desarrollo de las jornadas y encuentros ambientales, que se realizan en las escuelas, luego en las zonas y regiones escolares, hasta un evento interregional; y que incluyen concursos ambientales (poesía, dibujo, cuentos, experiencias escolares exitosas, entre otros), así como los encuentros (espacios donde participan representantes de cada escuela del programa) y los seminarios talleres (para docentes y miembros de los Comités Locales, con temas específicos, y que sirve como espacio y tiempo para el intercambio de saberes y organización conjunta de acciones ambientales comunitarias).

En términos generales, el abordaje institucional tiene como objetivo desarrollar actividades que permitan a los empleados de la ACP su interacción en procesos de sensibilización, concienciación, cambios de actitudes y comportamientos hacia vidas sostenibles, a través de la capacitación y la implementación de buenas prácticas ambientales en los sitios de trabajo; y una comprensión general de la importancia del recurso hídrico como eje motor del Canal de Panamá. También es interesante anotar el desarrollo de acciones institucionales a través de campañas educativas acerca de las 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar), y la capacitación del personal en temas ambientales.

La participación en ferias y eventos ambientales, tanto comunitarios como institucionales, ha facilitado la transferencia de conocimiento e información de los procesos, servicios y productos que la ACP brinda a la comunidad nacional; así como los resultados de su gestión ambiental en la cuenca del Canal.

2 Fundamentación

En términos generales, los principios en que se fundamenta esta iniciativa son:

a. La investigación histórica
b. La educación ambiental en la comunidad educativa y en el marco institucional
c. Los objetivos de la educación ambiental

En primera instancia, se puede explicar que la investigación histórica busca reconstruir el pasado de la manera más objetiva y exacta posible, para lo cual de sistemáticamente recolecta, evalúa, verifica y sintetiza evidencias que permitan obtener conclusiones válidas.

En segunda instancia, la educación ambiental y su dinamización dentro del contexto de la comunidad educativa nos permite entenderla como un proceso dinámico y participativo, que facilita la toma de conciencia y promueve una interacción ser humano-naturaleza más amigable y sostenible, desde una perspectiva que va de lo local a lo global, y viceversa. Además, la comunidad educativa es el conjunto de personas que influyen y son afectadas por un entorno educativo, y se encarga de promover actividades que promuevan el mejoramiento de la calidad de la educación, así como lograr el bienestar de sus miembros.

Por otro lado tenemos la conceptualización de institución, como la forma en que se relacionan los seres humanos de una determinada sociedad o colectivo, buscando el mayor beneficio para el grupo. Las instituciones son mecanismos de orden social y cooperación que procuran normalizar el comportamiento de un grupo de individuos.

Y por último, los objetivos de la educación ambiental, según la Carta de Belgrado, de octubre de 1975, son:

- *Toma de conciencia*. Ayudar a las personas y a los grupos sociales a que adquieran mayor sensibilidad y conciencia del medio ambiente en general y de los problemas
- *Conocimientos*. Ayudar a las personas y a los grupos sociales a adquirir una comprensión básica del medio ambiente en su totalidad, de los problemas conexos y de la presencia y función de la humanidad en él, lo que entraña una responsabilidad crítica
- *Actitudes*. Ayudar a las personas y a los grupos sociales a adquirir valores sociales y un profundo interés por el medio ambiente
- *Aptitudes*. Ayudar a las personas y a los grupos sociales a adquirir las aptitudes necesarias para resolver los problemas ambientales
- *Capacidad de evaluación*. Ayudar a las personas y a los grupos sociales a evaluar las medidas y los programas de educación ambiental en función de los factores ecológicos, políticos, sociales, estéticos y educativos
- *Participación*. Ayudar a las personas y a los grupos sociales a que desarrollen su sentido de responsabilidad y a que tomen conciencia de la urgente necesidad de prestar atención a los problemas del medio ambiente, para asegurar que se adopten medidas adecuadas al respecto.

3 Objetivos

La iniciativa tiene como objetivos generales:

a. Propiciar un espacio de investigación y sistematización de la evolución histórica de la educación ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Canal, que sirva de referencia y marco comparativo a la hora de dimensionar y evaluar los esfuerzos, inversiones, procesos, servicios y productos que, desde la ACP, se realizan en este tema.
b. Establecer líneas integradoras en el marco de lo interinstitucional, que faciliten la transformación

y perfeccionamiento permanente de la gestión en educación ambiental en la cuenca del Canal, con la acción colegiada de los actores institucionales participantes.

4 Logros generales

La investigación histórica realizada nos brinda las siguientes conclusiones:

- Fortalecimiento de la interinstitucionalidad y fuerte tendencia hacia la estructuración de un modelo de educación ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, para un comportamiento ambiental responsable.
- Participación activa y comprometida de la comunidad educativa, con experiencias exitosas de educación ambiental.
- Propuestas y desarrollo de proyectos y actividades de corte ambiental que impactan positivamente a la comunidad educativa.
- Docentes con formación específica en educación ambiental, participando en actividades académicas de carácter regional y nacional.
- Desarrollo de actividades de integración ínter zonal e interregional, para el fortalecimiento del programa Guardianes de la Cuenca.
- Construcción de un sentido de pertenencia y fortalecimiento de la cultura ambiental, para el logro de cambios actitudinales y de comportamientos.
- Tendencia hacia la puesta en marcha de estrategias para el mejoramiento de la calidad de vida de los miembros de la comunidad y los del orden institucional.

REFERENCIAS

ACP, ANAM, MEDUCA y USAID. (2002) *Memorando de Entendimiento: Para el desarrollo del Programa de Educación Ambiental "Guardianes de la Cuenca"*. Panamá.

Alea, A. (2005) Breve historia de la educación ambiental: del conservacionismo hacia el desarrollo sostenible. *Revista Futuros* 12, Vol. 3.

Constitución de la República de Panamá.

Gaceta Oficial. (1992) *Ley N°10, de junio de 1992, por la cual se adopta la educación ambiental como una estrategia nacional para conservar y desarrollar los recursos naturales y preservar el ambiente*. Panamá.

Gaceta Oficial. (1999) *Ley 44, de agosto de 1999, por la cual se aprobaron los límites de la Cuenca Hidrográfica del Canal*. Panamá.

Seminario Internacional de Educación Ambiental. (1975) *La Carta de Belgrado*.

Nuevas bases de aprendizaje para la construcción de puentes de conocimiento sobre el agua

SUSANA NETO[1] Y JEFF CAMKIN[2]

1 Universidad Técnica de Lisboa, Portugal
susana.neto@netcabo.pt

2 Centro de Excelencia de Eco-hidrología. Universidad de Australia Occidental, Australia

Resumen Cinco reuniones regionales promovidas por la UNESCO en 2009 (Norteamérica, Europa, Asia, Australia y África) se llevaron a cabo para responder a la creciente necesidad de enfoques transdisciplinarios, de una visión integral, de la incorporación del aprendizaje no formal de conocimientos y opiniones, y de la participación efectiva y el análisis sintáctico ascendente para la identificación de problemas y soluciones. Hay, sin embargo, un contexto general de tensión y competencia entre las especializaciones dentro de diferentes disciplinas, y sin la especialización es difícil obtener el reconocimiento formal y académico, ya sea a nivel de pregrado, postgrado o doctorado. El Taller de Capacitación sobre Educación del Agua 2010 en París identificó la necesidad de crear programas de nivel terciario o vocacional que incluyan a participantes de diferentes antecedentes, con el fin de facilitar la cooperación y el intercambio de puntos de vista. El enfoque integrado debe permitir la comunicación entre especialistas abordando problemas específicos y otros expertos y profesionales, proporcionando nuevas capacidades y habilidades de conocimiento –un nuevo perfil para el "profesional del agua". Este trabajo presenta ideas sobre las experiencias de las nuevas metodologías de aprendizaje que se aplican como parte de la Maestría Erasmus Mundus en Ecohidrología, en colaboración con el Centro Internacional de la UNESCO para la ecohidrología costera y la red HELP de la UNESCO-PHI. Dos cursos se han llevado a cabo hasta la fecha, el primero sobre problemas mundiales del agua y GIRH, en el 2010, y el segundo sobre Ecohidrología Global en Acción, en el 2011. Los cursos utilizaron la red HELP para reunir a expertos con experiencia práctica, aplicada y en investigación académica. Basándose en sus experiencias y en las de sus colegas, presentadores y líderes del curso, los participantes reflexionaron sobre los desafíos prácticos de la GIRH y reconsideraron sus opciones a partir de una serie de nuevas perspectivas. Los participantes fueron invitados a pensar "fuera de la caja de agua" y a enfocarse en el papel de la GIRH en el cumplimiento de un conjunto más amplio de objetivos de las políticas de la sociedad.

Palabras clave GIRH; metodologías de aprendizaje; enfoque transdisciplinario; red HELP

1 Introducción

Los crecientes retos mundiales en torno al agua están bien documentados (UNWWAP, 2009; FAO, 2011). La demografía y el consumo creciente resultante del aumento de los ingresos per cápita son los factores o presiones más importantes sobre el agua (UNWWAP, 2009). Según la ONU, las dinámicas de población, tales como el crecimiento, la distribución por género y edad, y las migraciones, crean presión sobre los recursos de agua dulce mediante una mayor demanda y contaminación. Además, los cambios en el paisaje asociados a la dinámica poblacional, como la migración y la urbanización, pueden crear presiones adicionales sobre los recursos hídricos locales y aumentar la necesidad de los servicios de agua (*Ibid*). Los impactos previstos del cambio climático representan una carga adicional en los sistemas de producción de alimentos, ya bajo presión para satisfacer las necesidades alimentarias de un mundo creciendo rápidamente y progresivamente más rico (FAO, 2011). A medida que la agricultura se desarrolla y se intensifica el uso del suelo y el agua, el impacto de la misma sobre los ecosistemas naturales se hace más evidente. Este impacto daña la integridad de los ecosistemas, lo que socava los sistemas de producción de alimentos que en ellos se apoyan. Según la FAO (2011), una adaptación eficaz a los impactos del cambio climático sobre el agua y la agricultura requerirá una buena comprensión e integración de las ciencias agronómicas con la

gestión del agua y la hidrología, junto con la debida consideración a las resultantes interacciones ambientales e intercambios compensatorios.

En la medida que la presión sobre los recursos hídricos en el mundo aumenta, esto se ha traducido en retos nuevos y cada vez más interconectados. En respuesta, la gestión del agua también ha cambiado con el tiempo, con la introducción de nuevas disciplinas, nuevas técnicas, un nuevo lenguaje y nuevas ideas. La ecología, economía y otras ciencias sociales han añadido progresivamente a la hidrología histórica y a la base de la ingeniería. La evolución y la verificación de los nuevos problemas ha llevado a la necesidad de adoptar términos "importados" de otras ciencias (Neto, 2010). Esto ha conducido a menudo a la utilización de conceptos que fueron definidos originalmente para un fin determinado en un contexto disciplinario específico, siendo de uso común con diverso alcance en otras áreas disciplinares. Según Neto (2010), "esto ha dado lugar a una cierta confusión conceptual y la construcción de una terminología mixta que no siempre hace referencias debidamente. Por ejemplo, la preocupación de llevar el concepto de eficiencia a la gestión de los recursos hídricos a fin de contemplar los costos económicos llevó a añadir varios términos procedentes de la economía al vocabulario de la 'hidrología'. Un ejemplo de ello es la aplicación generalmente inadecuada y fuera de contexto de la expresión 'oferta' y 'demanda' de agua, o el 'mercado del agua', lo que restringe la afirmación a una prestación de servicios de agua y la interpretación del agua como una mera 'mercancía', sujeta al monopolio natural". Más recientemente, la sociología, la antropología y la psicología social se han convertido en parte de la solución a los retos de la gestión del agua. Esto ha obligado a repensar algunos de los términos anteriormente integrados, y ha alentado a una definición más rigurosa de los conceptos utilizados por diferentes especialistas (*Ibid*).

Ha habido un cambio en la búsqueda de soluciones dentro de las distintas disciplinas científicas hacia lo multidisciplinario, las soluciones interdisciplinarias y, más recientemente y cada vez más, al pensamiento y enfoques transdisciplinarios –a la búsqueda de soluciones en los espacios intersticiales entre las disciplinas científicas. Bammer (2005) describe las diferencias importantes en estos enfoques. El enfoque multidisciplinario no requiere que los investigadores dejen sus disciplinas; aborda temas logrando que los investigadores en una amplia gama de disciplinas utilicen sus teorías y métodos tradicionales para presentar un conocimiento, e intenta integrar estas concepciones diferentes. En un enfoque interdisciplinario, los investigadores de pequeños grupos de disciplinas afines, tales como la física, las matemáticas y la química, o la sociología y la antropología, miran más allá de su propia disciplina y trabajan juntos para encontrar áreas de superposición con probabilidades de producir nuevos conocimientos. Un enfoque transdisciplinario tiene como objetivo desarrollar un nuevo marco conceptual común que proporcione un nuevo nivel de coherencia para las diferentes disciplinas. De acuerdo con Bammer (2005), "los investigadores deben colaborar e integrarse a través de las fronteras tradicionales. Deben reunir las disciplinas académicas y participar más activamente en la realización de investigaciones en políticas, productos, y acciones".

También ha habido un cambio hacia la globalización de los problemas y soluciones. En la medida que los problemas se vuelven cada vez más conectados, también son cada vez más globalizados. Reconocer esta globalización de los problemas del agua ha provocado el tomar conciencia de la oportunidad de extraer ideas y posibles soluciones de un mundo de experiencias prácticas, tanto en contextos similares como diferentes. "Los investigadores, patrocinadores y los usuarios finales de la investigación cada vez más reconocen que se deben desarrollar nuevas destrezas de investigación si las sociedades humanas han de ser más eficaces en la lucha contra los complejos problemas que enfrentamos y en el sostenimiento de la clase de mundo donde deseamos vivir" (Bammer, 2005).

Las experiencias recientes han aumentado la conciencia de los riesgos y consecuencias de las decisiones sobre el uso del agua. Las comunidades ahora esperan que los desarrollos no sólo tengan impactos ambientales aceptables, sino que también brinden beneficios sociales y económicos. Por otra

parte, las organizaciones no gubernamentales y los individuos están mejor entrenados, conectados y equipados para supervisar las decisiones. Juntas, estas tendencias están aumentando la presión sobre los tomadores de decisiones. Lidiar con la complejidad y la incertidumbre surge como una necesidad y una responsabilidad compartida para gobierno, los desarrolladores y la comunidad, para que las buenas decisiones se sigan realizando (Camkin, *et al*., 2008). En respuesta a esta presión, hay un rápido crecimiento en el desarrollo de la tecnología en línea que utiliza nuevos métodos de aprendizaje y ayuda a las comunidades en la resolución práctica de problemas complejos (*Ibid*).

Cinco reuniones regionales promovidas por UNESCO en 2009 (Norteamérica, Europa, Asia, Australia y África) abordaron la creciente necesidad de adoptar enfoques que atraviesen las diferentes disciplinas, la visión holística, la incorporación de conocimientos y opiniones no-formales, y la participación efectiva y de acción de abajo hacia arriba para la identificación de problemas y soluciones. Hay, sin embargo, un contexto general de tensión y competencia entre las especializaciones de diferentes disciplinas, y sin la especialización es difícil obtener el reconocimiento formal y académico, ya sea a nivel de grados de Licenciatura, de Maestría o de Doctorado. El Taller de Capacitación en Educación sobre el Agua 2010, en París, identificó la necesidad de crear programas vocacionales o de nivel terciario que incluyan participantes con diferentes antecedentes, con el fin de facilitar la cooperación y el intercambio de puntos de vista. El enfoque integrado debe permitir la comunicación entre especialistas que abordan problemas específicos y otros expertos y profesionales, proporcionando nuevas capacidades y competencias de conocimientos –un nuevo perfil del "profesional del agua".

Una pregunta clave es si la tensión permanente entre la necesidad de un pensamiento transdisciplinario y el enfoque disciplinario de la ciencia tradicional, y la inclusión del conocimiento no-científico, está siendo abordado en medida suficiente para crear la libertad y la flexibilidad necesarias para hacer frente a los desafíos del agua cada vez más interrelacionados y complejos que enfrenta el mundo. El programa PHI-HELP de la UNESCO, incluida su red de 91 cuencas fluviales en 67 países y más de 2.000 abogados y legisladores, la industria y los interesados de la comunidad, junto con científicos de muchas disciplinas diferentes, proporciona una excelente fuente de experiencias, ideas y soluciones potenciales a los retos del agua. El programa de Eco-hidrología de PHI -UNESCO también incluye una serie de sitios de demostración donde las prácticas de gestión del agua sostenibles, innovadoras y que atraviesen disciplinas, se están llevando a cabo basadas en los principios de la Eco-hidrología, proporcionando otra fuente importante.

Pero, ¿qué más se necesita hacer? El resto de este artículo presenta ideas sobre las experiencias de aprendizaje con nuevas metodologías de cooperación que están siendo aplicadas como parte del Máster Erasmus Mundus (EMMC) en Eco-hidrología, en colaboración con el Centro Internacional de la UNESCO para Eco-hidrología Costera (UNESCO-ICCE) y las redes HELP y de Eco-hidrología. Vamos a describir nuestro enfoque, la retroalimentación de los cursos, lo que hemos aprendido como coordinadores de curso y algunas sugerencias para el futuro de HELP y los Programas de Sitios de Demostración de Eco-hidrología.

2 Discusión

El EMCC se dicta a través de un consorcio del Instituto para la Educación de la UNESCO (Países Bajos), la Universidad de Lodz (Polonia), la Universidad Christian Albrecht de Kiel (Alemania), la Universidad Nacional de La Plata (Argentina) y la Universidad de Algarve (Portugal). Otras varias instituciones de investigación y Centros UNESCO de Europa, América Latina, Asia y Australia están asociados con el curso, contribuyendo con cursos de estudios avanzados y promoviendo el

intercambio de estudiantes. El EMCC se dicta a lo largo más de 18 meses, a través de cuatro módulos (áreas temáticas):

a. comprensión de las funciones, los procesos y las amenazas en los ecosistemas acuáticos
b. caja de herramientas para la aplicación de Eco-hidrología: modelización del impacto ambiental
c. el desarrollo de habilidades personales y la ejecución de proyectos de investigación
d. la integración y la especialización en la gestión o la ingeniería de los ecosistemas acuáticos

Los autores de este trabajo fueron invitados a desarrollar nuevos cursos de corta duración como parte de los programas de Maestría que se entregarán en la Universidad de Algarve, en Faro, Portugal. Dos cursos fueron desarrollados e impartidos: Problemas Mundiales del Agua y Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH), en diciembre de 2010, y Eco-hidrología Global en Acción, en agosto de 2011.

Curso Corto en Problemas Mundiales del Agua y GIRH

El Curso Corto en Problemas Mundiales del Agua y GIRH fue dictado durante seis días a inicios del 1er Semestre del EMMC en Eco-hidrología, como asignatura optativa dentro del Módulo 2: Herramientas para la aplicación de la Eco-hidrología. Hubo 11 estudiantes participantes de 11 países: Bangladesh, Bosnia, China, Etiopía, Alemania, India, Polonia, Portugal, Tanzania, Turquía y los EE.UU. Los participantes tenían una amplia experiencia y una gran variedad de antecedentes, incluyendo la hidrología, geografía, biología, ecología, ciencias de la pesca, ciencias del medio ambiente, acuicultura, meteorología y oceanografía. Se les presentó la gama de problemas mundiales actuales del agua, la historia y la intención de los principales acuerdos internacionales relacionados con el agua, y los principios básicos de la GIRH, a través de presentaciones y discusiones con los coordinadores del curso. Reconociendo que cada uno de los participantes ya poseía importantes habilidades y experiencias, y que en conjunto la amplitud de antecedentes y nacionalidades trajo una gran cantidad de oportunidades de aprendizaje, los participantes se entablaron en un diálogo de intercambio de aprendizaje con los coordinadores del curso y sus colegas, durante más de seis días. A través de ejercicios semi-estructurados, incluyendo el juego de roles de la GIRH, los participantes expresaron sus propias experiencias y accedieron a las de sus colegas y coordinadores del curso. Se les animó a pensar continuamente "fuera de la caja de agua" y a centrarse en el papel de la GIRH en el cumplimiento de un conjunto más amplio de objetivos de las políticas. Se les pidió reflexionar sobre los desafíos prácticos de la GIRH con que se han involucrado, y considerar sus opciones dentro una serie de perspectivas nuevas. Al final del curso, cada participante dio una breve exposición de 'la GIRH en la práctica' y entregó un ensayo final 'Implementando la GIRH en la Práctica', sobre una experiencia elegida, demostrando la forma en que ellos podrían hacer las cosas de manera diferente teniendo en cuenta lo aprendido a través del curso.

Curso Corto de Eco-hidrología Mundial en Acción

El curso corto de Eco-hidrología Mundial en Acción fue dictado durante tres días al final del 2ndo Semestre del EMMC en Eco-hidrología como un tema central dentro de la Escuela de Verano del EMMC. Fue diseñado para ayudar a equilibrar los componentes teóricos del EMMC con el acceso a experiencias de la vida real. Participaron nueve estudiantes de ocho países: Bangladesh, China, Etiopía, India, Kazajstán, Polonia, Tanzania y Uganda. Se les presentaron varios ejemplos prácticos de Eco-hidrología en Acción, procedentes principalmente de HELP UNESCO y de

los Programas de Sitios de Demostración de Eco-hidrología. En el primer día, el Coordinador Mundial de la UNESCO para programas HELP y Eco-hidrología dio una bienvenida por internet a los participantes, y cada día por internet se recibieron presentaciones de científicos, creadores de políticas, de la industria o de partes interesadas de la comunidad involucrados con una cuenca HELP o Sitio de Demostración de Eco-hidrología. Desde sus oficinas en Nueva Zelanda, Malasia, Filipinas y Bélgica, los presentadores dieron una visión general de una cuenca HELP o de un Sitio de Demostración de Eco-hidrología, y describieron el rol práctico que la Eco-hidrología está jugando en la gestión. A los presentadores se les animó a dar un toque personal a través de sus propias experiencias y puntos de vista. Los participantes y presentadores estuvieron en contacto visual y de audio, y los estudiantes tuvieron la oportunidad de hacer preguntas o pedir aclaraciones durante las presentaciones, y de discutir los problemas directamente con los presentadores durante las sesiones de tutoría por internet que siguieron. Reflexionando sobre lo que habían escuchado, a los participantes se les pidió identificar los desafíos que enfrentan, los objetivos de gestión, y las formas en que la Eco-hidrología estaba contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de gestión, así como a compartir sus pensamientos acerca de si el uso de los principios de Eco-hidrología ha hecho una diferencia sustancial. En el último día, cada participante hizo una presentación breve describiendo lo que había aprendido sobre Eco-hidrología de los ejemplos de Eco-hidrología en Acción y del EMCC.

Al finalizar ambos cursos, a los participantes se les pidió que proporcionaran retroalimentación a los convocadores del curso EMMC. Al final del curso de Eco-hidrología Mundial en Acción, los participantes se video-entrevistaron entre sí por su propia iniciativa, para registrar sus pensamientos. Estas grabaciones de vídeo demuestran que los participantes apreciaron la metodología del curso. Los participantes obviamente se conectaron con los ponentes invitados y fueron capaces de reconocer la relación entre los retos prácticos que se enfrentan en las Cuencas HELP y los Sitios de Demostración de Eco-hidrología y la teoría que habían aprendido durante otros temas del EMMC.

El Coordinador de EMMC resumió la retroalimentación de los participantes de los dos cursos de corta duración: “Los cursos fueron muy interesantes. Cubrieron una amplia gama de temas relacionados con los recursos hídricos, y los participantes se dieron cuenta de la importancia crucial de tener en cuenta la dimensión humana en el manejo de los recursos hídricos. Se dieron cuenta de que sin la participación de la sociedad, tanto desde la perspectiva de impulsor de los cambios, como de receptor de cambios, no es posible encontrar y establecer soluciones sostenibles para los recursos hídricos a nivel mundial. La metodología de promover el diálogo con las partes interesadas y la sociedad que se enseñó fue considerada muy útil por los participantes, y dio buenos resultados al facilitar el diálogo provechoso con todos los actores involucrados en la compleja gestión de los recursos hídricos” (L. Chícharo 2011, com. pers., 25 de agosto).

3 Conclusiones

En estos dos cursos hemos tratado de desarrollar una nueva metodología de aprendizaje compartido, con miras a un enfoque transdisciplinario, el cual es construido a partir de los diversos antecedentes de cada estudiante, de su propia experiencia y conocimientos, y de sus expectativas. A través de los presentadores y coordinadores, los participantes no sólo se beneficiaron de la nueva información y experiencias, sino que pudieron acceder a las redes de profesionales que se basan menos en un marco disciplinario y más en una visión compartida para la GIRH. Los participantes fueron invitados por varios de los ponentes invitados a contribuir con sus experiencias e ideas para resolver los desafíos existentes en las cuencas HELP y los Sitios de Demostración de Eco-hidrología, lo que representa

un cambio fundamental desde acceder a una red de contactos profesionales y de conocimiento, hacia convertirse en sí mismos en parte de la base de redes y conocimiento

Fundamental para esta metodología fue también el compromiso de los individuos dentro de la red HELP. La implicación emocional evidente y la generosidad de los ponentes invitados –que dieron algo más que su gran conocimiento– fue un factor catalizador que ayudó a los participantes a establecer la conexión entre los distintos temas que habían estudiado mediante la EMMC y los problemas reales que tendrán que resolver en la práctica. Este compromiso y generosidad entregados en relación con los problemas reales a través de temas que consolidan el aprendizaje de los temas más técnicos en el EMMC fue una combinación poderosa.

Además de proceder de disciplinas y países diferentes, los participantes fueron también muy diferentes en torno a los contextos socio-políticos, representando países en desarrollo y desarrollados. Alentar activamente a los participantes a poner sus historias en la mesa permitió a todos los participantes ver los problemas de agua desde la más amplia gama de perspectivas, proporcionando una oportunidad significativa de aprendizaje.

Las experiencias de los cursos cortos en Problemas Mundiales del Agua y GIRH, y de Eco-hidrología Mundial en Acción de EMMC, sugieren que existe una oportunidad considerable para la comunidad HELP de contribuir de manera activa y provechosa a satisfacer las necesidades identificadas en el Taller de Capacitación en Educación del Agua 2010: crear cursos de nivel terciario y de formación vocacional que incluyan participantes con diferentes antecedentes, con el fin de facilitar la cooperación y el intercambio de puntos de vista. A través de cursos como estos, la comunidad HELP puede apoyar tanto a la comunicación inmediata como a largo plazo entre los especialistas, abordando problemas específicos, otros expertos y profesionales, e incipientes profesionales del agua, proporcionando nuevas capacidades y competencias de conocimientos y ayudando al desarrollo de un nuevo perfil del "profesional del agua".

Agradecimientos

Reconocemos la generosidad y el compromiso de todos los ponentes invitados a los cursos Problemas Mundiales del Agua y GIRH, y Eco-hidrología Mundial en Acción del EMMC: Prof. Shahbaz Khan, prof. Mazlin Mokhtar, Dr. Rahmah Elfithri, Dra. Nora van Cauwenbergh, Dr. Andrew Fenemor y Declan Hearne. También agradecemos a todos los participantes del curso que aportaron activamente y con entusiasmo sus experiencias para el beneficio de todos. El apoyo técnico de la Universidad de Algarve para garantizar que las presentaciones por internet funcionaran a la perfección fue crítico y se reconoce con gratitud.

REFERENCIAS

Bammer, G. (2005) Integration and Implementation Sciences: building a new specialization. *Ecology and Society* 10 (2): 6. [en línea] URL: www.ecologyandsociety.org/vol10/iss2/art6/.

Camkin, J.K., Bristow, K.L., Petheram, C., Paydar, Z., Cook, F.J. y J. Story. (2008) Designs for the future: The role of sustainable irrigation in northern Australia. In: *Sustainable Irrigation: Management Technologies and Policies II*. Villacampa Estve, Y., Brebbia, C.A. y D. Prats Rico (Eds). WIT Press, pp. 293-302.

FAO. (2011) *Climate change, water and food security*. FAO Water Report 36. Hugh Turral, Jacob Burke y Jean-Marc Faurès. 200 pp.

Neto, Susana. (2010) W*ater, Territory and Planning. Contemporary Challenges: towards a Territorial Integration of Water Management*. Tesis de doctorado. September 2010.

UNWWAP. (2009) *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. París: UNESCO y Londres: Earthscan.

Gestión del conocimiento en el sector hídrico

SUNETRA LALA[1], NITYA JACOB[1] Y SMITA SIVAKUMAR[1]

1 Comunidad de Intercambio de Soluciones Hídricas, Fondo para la Niñez de las Naciones Unidas (UNICEF), India
sunetra.lala@one.un.org

2 Carollo Engineers, California, EEUU

Resumen La Comunidad de Agua para el Intercambio de Soluciones (Water Community of Solution Exchange, WCSE en inglés), en la India, es una Red de Valor que conecta a comunidades y administraciones locales para el diseño y la implementación de proyectos hídricos. Este documento presenta a la WCSE en la perspectiva de lo que los autores denominan una Red de Valor dedicada a proyectos sociales hídricos (W2W), basada en la Web 2.0. El mismo destila las experiencias de la WCSE desde el punto de vista de la gestión de sus dos características primordiales Agua y Web 2.0. La descripción y el análisis del caso de estudio de una iniciativa hídrica facilitada a través de la WCSE trata la dimensión de un proyecto hídrico como distinto de los axiomas generales de la gestión de proyectos. La síntesis de la teoría de la Red de Valor y contribuciones personales de los oficiales de la WCSE nos llevan hacia la dimensión Web 2.0. En conclusión, el trabajo presenta un marco de gestión y sus elementos de proceso que sostienen y nutren el crecimiento de una W2W.

Palabras clave Redes de conocimiento; Redes de Valor; proyectos hídricos; Web 2.0; W2W

1 Introducción

Intercambio de Soluciones (Solution Exchange, SE en inglés) es una Red de Valor que utiliza la plataforma Web 2.0 y el internet para tratar tareas de desarrollo en la India. El equipo de país de las Naciones Unidas estableció a SE como un foro moderador electrónico (e-) a principios del 2005. Este foro consiste de múltiples Comunidades de Practica (COP), con cada comunidad enfocándose en uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). La Comunidad de Agua para el Intercambio de Soluciones (WCSE) en la India es una COP dedicada a alcanzar el ODM #7 - 'Asegurar la sostenibilidad ambiental'. Se enfoca en proveer de agua adecuada para el consumo humano y facilidades sanitarias a todos los sitios habitados. Este foro electrónico se conecta con las comunidades locales y la administración para el diseño y la implementación de soluciones ingeniosas a los problemas de agua.

Este documento captura el aprendizaje basado en la experiencia de la WCSE, traduciéndolo a un marco de gestión que puede replicarse para ser utilizado en cualquier parte. Existen dos dimensiones básicas a considerar. Primero, los proyectos hídricos sociales son únicos, debido a que se enfocan en los derechos de acceso a un recurso escaso, y sus beneficiarios invariablemente subsisten al margen de la sociedad. Por lo tanto, el axioma convencional de la gestión de proyectos debe ser madurado para superar con éxito los obstáculos y las desigualdades sociales. Segundo, una Red de Valor electrónica cuenta con sus propios retos tecnológicos y, si es manejada apropiadamente, puede rendir beneficios geométricamente superiores.

2 Introducción teórica a las redes de valor

A principios de la década de 1930, el Dr. Jacob Levi Moreno, un psicólogo auto publicado, introdujo el 'sociograma', –un grupo de puntos individuales o 'nodos', conectados por líneas rectas – el primer intento formal para trazar un mapa de las relaciones dentro de un grupo de personas. El profesor J. A. Barnes de la Escuela de Economía de Londres, en su documento "Clases y comités en una parroquia en una isla en Noruega" (1954) acuño la expresión 'Red Social' como un "conjunto

de puntos, algunos de los cuales se encuentran unidos por líneas" para formar una "red completa" de relaciones. En el contexto actual, una Red Social es una estructura que consta de individuos u organizaciones llamados 'nodos', los cuales están conectados por relaciones en torno a un tema común. Etienne C. Wenger, un educador teórico y médico, afirma que los COPSs son formados por personas involucradas en un proceso de aprendizaje colectivo en un dominio compartido de actividad humana. Los miembros de la COP comparten una inquietud o pasión por algo que hacen y aprenden a hacerlo mejor a medida que interactúan regularmente (2006).

Por lo tanto, podemos concluir que una COP es esencialmente auto-gobernada, apoyada por un equipo central de facilitadores/moderadores. El facilitador/moderador provee la plataforma o infraestructura para discusiones/comunicaciones y asegura el enfoque al mantener las discusiones en el camino correcto. Cuando un equipo central establece enlaces entre los nodos al establecer el tema, enfoque y agenda alrededor del conocimiento y habilidad de una temática, estas redes evolucionan en Redes de Conocimiento.

Las Redes de Conocimiento que van más allá del mero intercambio y aumento de conocimiento para proveer un valor económico significativo y específico se denominan Redes de Valor (Fig. 1). Las Redes de Valor son definidas como "cualquier red de relaciones que genera tanto valor tangible como intangible por medio de intercambios dinámicos complejos entre dos o más individuos, grupos u organizaciones". Cualquier intercambio, tanto tangible como intangible, de una organización o grupo de organizaciones involucrados puede ser considerada como una Red de Valor, ya sea en la industria privada, el gobierno, o en el sector publico (Allee, 2002).

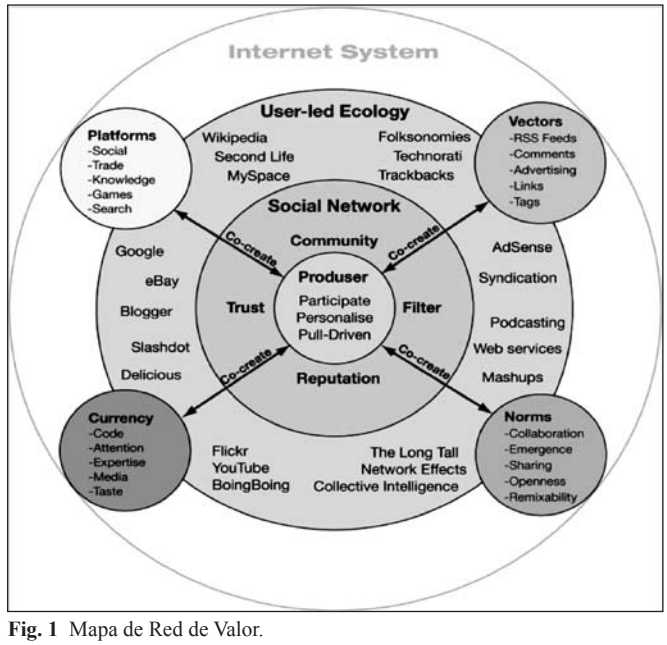


Fig. 1 Mapa de Red de Valor.
Fuente: Smart Services CRC Pty Ltd.

La progresión desde el Conocimiento hasta las Redes de Valor requiere de esfuerzos conjuntos y a largo plazo por un equipo central de facilitadores o moderadores. En principio, todas las redes se esfuerzan para alcanzar una masa crítica para servir sus intenciones básicas –generación e intercambio de conocimiento. En la segunda etapa, existe un flujo estable de contenido, discusiones

y conocimiento, y la adquisición de los nuevos miembros. En la tercera etapa, las redes comienzan a enfocarse en temas seleccionados para discusión y colaboración, identificando promotores que los lleven hacia adelante y que construyan enlaces estratégicos con otras instituciones y redes. En la siguiente etapa de evolución, los miembros buscan a otros con intereses comunes para desarrollar proyectos colaborativos, construir sobre el conocimiento de cada uno para adelantar el desarrollo de sus metas, e influenciar los proyectos y la política gubernamental. En este punto es posible que las instituciones o individuos de otras redes también se unan a las actividades. Es en este proceso de evolución que la tecnología Web 2.0 juega un papel vital.

En la Web 1.0, el proveedor de servicio de aplicaciones domina dónde el contendido es generado y distribuido desde un nodo. La Web 2.0 se refiere a aplicaciones que utilizan la web como plataforma para aprovechar la inteligencia colectiva distributiva de sus usuarios.

3 Comunidad de Agua para el Intercambio de Soluciones

La Comunidad trabaja con la UNICEF y su ministerio nodal, el Ministerio de Agua para Consumo Humano y Sanidad. Posee más de 3.700 miembros, los cuales pertenecen a varias organizaciones, incluyendo Organizaciones no Gubernamentales (ONGs), universidades, institutos de investigación, firmas de consultoría, y juntas hídricas de gobierno. Aproximadamente el 8% del personal de la WCSE proviene de otros países.

Las ONGs y el sistema de las Naciones Unidas poseen varias décadas de experiencia en desarrollo en la India. Por lo tanto, la WCSE comenzó con la ventaja doble, de un pedigrí reconocido y de una riqueza en información almacenada en proyectos de desarrollo.

La WCSE busca suplementar la investigación académica con información proveniente de la experiencia o del conocimiento tácito que se deduce de las discusiones con profesionales, basadas en su trabajo. Esto involucra identificar a los miembros que poseen habilidades en un área determinada, contactándolos para obtener su aporte, editando (donde sea necesario) los comentarios, consolidándolos en forma de archivo, y nutriéndolos de vuelta a la red.

Existen tres facetas principales en la WCSE. Las discusiones moderadas están basadas en temas, dirigidos a la expansión del conocimiento sobre el mismo y a la facilitación de proyectos hídricos. El moderador resume 'una respuesta consolidada' de estas discusiones y las archiva en el Depósito de Conocimiento. Algunos miembros van más allá y forman un equipo de proyecto de campo. Los detalles del proyecto, métricas, y las lecciones aprendidas son archivadas en el Depósito del Conocimiento y compartidas con la WCSE (Fig. 2).

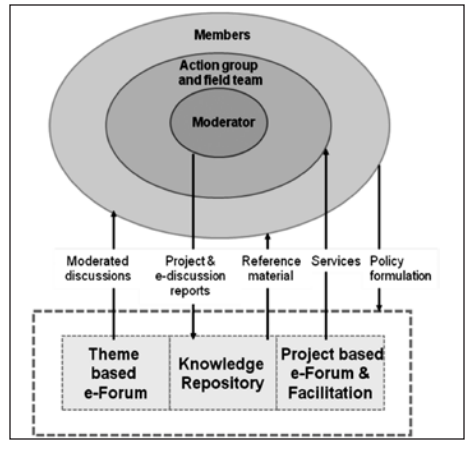


Fig. 2 Facetas de la WCSE.

La WCSE tiene en su núcleo un equipo de recursos de dos miembros. Este equipo, junto con un recurso grupal que consta de líderes y profesionales de alto rango, establece el criterio para los asuntos que serán abordados por el grupo, convoca a los grupos de acción, según sea necesario para afrontar proyectos, y también evalúa su desempeño.

Algunos de los asuntos que han sido exitosamente tratados por el foro son la eco-restauración de quebradas y ríos, la contaminación por flúor del agua potable, el manejo de las opciones tecnológicas disponibles para la gestión de los desechos sólidos y líquidos, combatir el ingreso del agua salada en áreas costeras, y técnicas de manejo hídro-agrícola.

Desde su implantación en el 2005, la WCSE ha atendido a más de 170 asuntos. Algunos de los hilos de discusión han evolucionado en proyectos en los cuales la WCSE no solo ha proveído un esquema de soluciones, sino que también ha participado durante la fase de la implementación de dicha solución.

Es importante notar que las iniciativas hídricas de la WCSE son diferentes de un marco de gestión regular de proyecto, ya que apuntan estrictamente a ser programas piloto. El mandato de la WCSE no es la implementación de un proyecto de ciclo de vida completo, sino la facilitación, que se extiende a las redes de contacto, extracción de conocimiento de las discusiones enfocadas en línea, el enlace de distintos conjuntos de participantes (gobierno, expertos, ONGs, ámbito académico y el sector privado) y el lanzamiento de proyectos piloto exitosos.

Las discusiones moderadas en línea se dan para compartir conocimiento y para alcanzar metas específicas, o para facilitar su logro. El foro actúa como un factor de arrastre para que las personas participen activamente (en lugar de ser receptores pasivos de información) en las discusiones y eventos de la WCSE. También son un buen ejemplo de la utilidad y el poder de la construcción del conocimiento colaborativo.

Las funciones clave de la WCSE son el informar políticas y programas, facilitar proyectos hídricos hasta la prueba conceptual y la fase de proyecto piloto, promover el aprendizaje individual e institucional, construir redes de profesionales y adelantar el conocimiento existente.

4 Caso de estudio: El proyecto de recarga de pozos Mazhapolima en Kerala, India

Kerala es un estado costero en el sur de la India, donde aproximadamente el 71% de los hogares dependen de pozos para obtener agua para el consumo humano. A pesar de una pluviosidad anual promedio de 3000 mm (el promedio nacional es de 1000 mm) mayormente durante los 3-4 meses de la temporada monzónica, el 70% de estos pozos se encuentran secos el resto del año, resultando en una severa escasez de agua (Census of India, 2001).

Siendo miembro de la WCSE, el Recaudador del Distrito (DC, por sus siglas en inglés) de Thrissur en Kerala, administrador escogido por el Gobierno Estatal, estaba consciente de su potencial de movilización del conocimiento para encontrar soluciones colaborativas a los problemas hídricos. Inspirado por varias discusiones en línea dentro de la WCSE, en mayo 2008, elaboró un esquema de proyecto para recoger el agua de lluvia y utilizarla para recargar los pozos familiares y aumentar la disponibilidad del agua durante los meses secos. El proyecto apunto a recargar los pozos de los hogares utilizando agua de lluvia recogida de los techos por estructuras para la recolección de agua de lluvia (RWH). El distrito cuenta con aproximadamente 450.000 pozos abiertos, contabilizando un valor de inversión por reemplazo de aproximadamente Rs. 18 mil millones (USD 350 millones). Al recargar los pozos, el proyecto espera poder hacer uso de los activos existentes para almacenaje hídrico y mejorar las reservas de agua subterránea.

En agosto del 2008, el DC se acercó a la WCSE con su esquema de proyecto y, en consulta con el moderador, introdujo un cuestionamiento bien elaborado, provocando aportes por parte de

los miembros de la WCSE sobre opciones simples de tecnología, herramientas de mercadeo social, y opciones financieras innovadoras. En un período de 3 semanas, la WCSE generó 43 respuestas. El equipo de investigación y desarrollo estructuró las respuestas dentro de un conjunto de soluciones que incluía mapas nacionales de teledetección (para guiar la elección de emplazamientos adecuados con alto potencial de recarga), información sobre costos de estructuras para techos de RWH, y recomendaciones a las ONGs que proveen entrenamiento a los habitantes en el diseño y construcción de estructuras de RWH. Fue resaltada la necesidad de una campaña educativa consistiendo de dramatizaciones callejeras y campañas puerta a puerta, específicamente dirigidas hacia las mujeres, sobre conceptos como recarga de agua subterránea y acuíferos.

El DC incorporo las soluciones aportadas y desarrolló Mazhapolima, un proyecto participativo de recarga de pozos. Mazhapolima fue destacada en el Foro Anual de la WCSE en 2008, y Arghyam, una ONG y socio de la WCSE, se ofreció apoyar el proyecto con un subsidio para investigaciones y apoyo. Un equipo central representando al Gobierno de Kerala, a la WCSE, y a Arghyam fue constituido para manejar el proyecto, bajo la guía del DC para el monitoreo general y la evaluación del proyecto.

El proyecto piloto fue implementado a través de una Institución Panchayat Raj (PRI; unidad de gobierno local) seleccionada de 600 hogares (Fig. 3). Basados en el aprendizaje a partir de allí, los elementos del proceso fueron refinados y el proyecto fue extendido hacia el resto del distrito. En el período mayo 2008-abril 2010, aproximadamente 5,770 pozos en 37 PRIs habían sido recargados con agua de lluvia recolectada utilizando estructuras de techos de RWH, a un costo promedio de Rs. 3.000 (USD 60) por pozo.

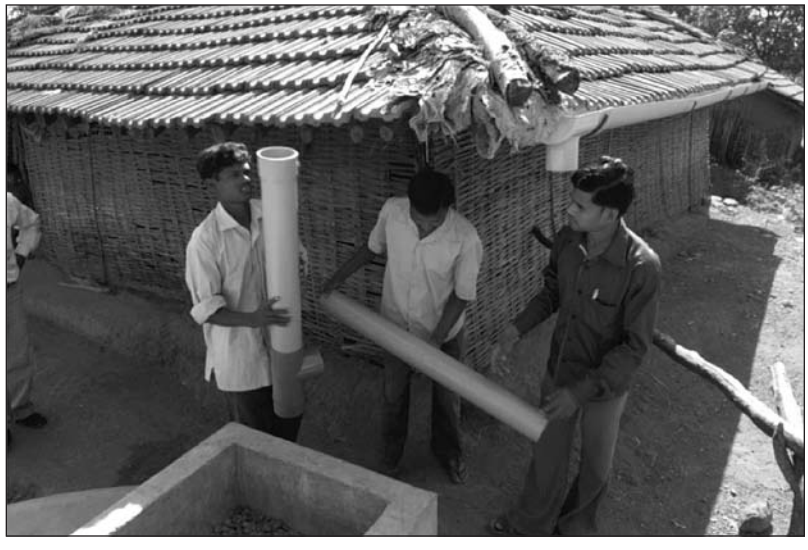


Fig. 3 Participación de trabajadores locales en la construcción

Este proyecto ha resultado en la reducción del tiempo promedio que le toma a un aldeano recolectar agua durante los meses secos, de 1,5 horas a unos pocos minutos por día. Las mujeres en la India, como en la mayoría de los lugares en vías de desarrollo, gastan mucho tiempo recolectando agua para el consumo humano. Estando el agua disponible en la casa, ellas ahorran tiempo y energía, y lo invierten en generar ingresos adicionales, la educación de sus hijos, o el descanso y esparcimiento.

En julio del 2009, la WCSE sostuvo un Foro Regional resaltando a Mazhapolima. Oficiales de alto rango en el Gobierno presentes en el foro comprendieron el potencial para ampliarlo a todo el Estado, y decidieron llevarlo a cabo.

El proyecto de recarga de pozo de Mazhapolima muestra cómo una serie de intervenciones por la WCSE se asemejó al desarrollo, implementación, y evolución de un programa tradicional de seguridad hídrica. Existían estudios sobre el potencial de acumulación de agua de lluvia, pero Kerala no tenía esta práctica como tradición dada su (anterior) abundancia de agua. No existía nada que enlazara el concepto de la recolección del agua de lluvia para la recarga de pozos, el diseño de soluciones, y la implementación pagada por los propios lugareños. No existía tampoco manera de saber si la solución era viable, hasta que la misma fuera evaluada por expertos, o se llevaran los resultados de la evaluación hacia donde importaba (el gobierno) para luego escalar el proyecto. El papel de la WCSE fue más allá de compartir información en forma pasiva, como sucede con la mayoría de las redes virtuales. Esta buscó activamente información sobre la recolección del agua de lluvia, técnicas de movilización social, y opciones financieras, las cuales fueron utilizadas para diseñar e iniciar el proyecto. Trajo a una agencia externa para proporcionar aportes tecnológicos y evaluación, y basados en esta evaluación, el gobierno estatal decidió expandir Mazhapolima y convertirlo en un programa de seguridad hídrica para toda Kerala.

La construcción del conocimiento colaborativo en un proceso no lineal, y muchas veces el resultado final es difícil de medir. En el caso de Mazhapolima, a pesar de que se ha convertido en un patrón para proyectos de seguridad hídrica, el resultado final dependerá de la medición a largo plazo de la mejora en la disponibilidad de agua, y en el resultante mejoramiento de la calidad de vida de la población.

5 Conclusión

El caso de estudio de Mazhapolima demuestra cómo el trabajo de una Red de Valor en el espacio electrónico va de la mano con un proyecto en el espacio físico. Este estableció un método para determinar vínculos causales.

Se sugieren los siguientes pasos para el manejo de las redes de valor con la WCSE:

- *Comunicación clara del problema por parte de los miembros*: los miembros deben comprender el funcionamiento de la red y realizar planteamientos claros sobre el problema. Al interactuar con la WCSE deben llevar la discusión hacia la meta que desean servir. El equipo moderador apoya estos esfuerzos al direccionar las discusiones hacia miembros que puedan realizar contribuciones significativas durante las diferentes etapas del ciclo de proyecto.
- *Cocimiento compartido*: el propósito principal de la red es compartir el conocimiento. Es fácil "degenerar" el foro compartiendo puntos de vista y consejos. Es aquí donde una moderación efectiva entra en juego. Al seleccionar cuidadosamente a sus miembros y canalizar sus respuestas, los miembros del equipo moderador mantienen las contribuciones de los otros miembros dentro del campo del "conocimiento", y filtran los puntos de vista y los consejos que podrían ser irrelevantes. Esto también hace que el estándar de calidad de las discusiones se eleve y que el producto de las mismas sea de mayor valor para sus miembros.
- *Tomando un rol activo*: mientras que resulta atractivo utilizar términos como "facilitador", para describir el rol de la WCSE como una plataforma imparcial, el equipo moderador debe jugar un papel de liderazgo activo en seleccionar los temas de discusión y a quienes discuten. Al hacer esto, puede emitir juicios de valor para buscar una diversidad de opiniones, y así lograr extraer de un tema tantas facetas como sea posible.
- *Costo de reemplazo*: como el caso de estudio de Mazhapolima demuestra, la WCSE actuó

como una conferencia virtual en tiempo real, brindando aportes al proyecto físico desde su red. Esto baja el costo de la sostenibilidad física del proyecto. Por lo tanto, las redes de valor tienen un alto costo de reemplazo.

En el manejo de proyectos virtuales, un Documento del Sloan School titulado "¿Cómo Manejar Equipos Virtuales?" (Siebdrat, 2009) apunta hacia un alto grado de procesos relacionados con tareas como la clave principal para la administración exitosa. Nosotros estimulamos a las W2Ws a mantenerse enfocadas en proyectos y evitar ser convertidas en un mero foro para debates y discusiones académicas.

REFERENCIAS

Allee, V. (2002) *A Value Network Approach to Modeling and Measuring Intangibles*, presentado en Transparent Enterprise, Madrid.

Asian Development Bank. (2000) *Project Performance Audit Report on the Sorsogon Integrated Area Development Project in the Republic of the Philippines, Manila.*

Asian Development Bank. (2004) *Operations Evaluation Department, Effectiveness of Participatory Approaches: Do the New Approaches Offer an Effective Solution to the Conventional Problems in Rural Development Projects?* Report No. SST: REG 2005-01.

Boyd, D. (2006) *G/localization: When Global Information and Local Interaction Collide*, presented at O'Reilly Emerging Technology Conference, San Diego, California.

Census of India. (2001).

Department of Drinking Water Supply, Ministry of Rural Development, Government of India.

Schauer, B. (2005) *Experience Attributes: Crucial DNA of Web 2.0*. www.adaptivepath.com.

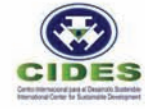
Siebdrat, F., Hoegl, M., Ernst, H. (2009) *How to Manage Virtual Teams,* MIT Sloan Management Review.

United Nations Development Program. (2006) *Human Development Report, Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis*.

Wenger, E. (2006) *Communities of Practice A Brief Introduction*. www.ewenger.com/theory/.

Reconocimiento

El Segundo Simposio Internacional Construyendo Caminos de Conocimiento para un Futuro con Sostenibilidad Hídrica fue posible gracias a la colaboración de:



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

Programa Hidrológico Internacional

HELP
Hydrology for the Environment, Life and Policy

ecohydrology programme

CANAL DE PANAMÁ