

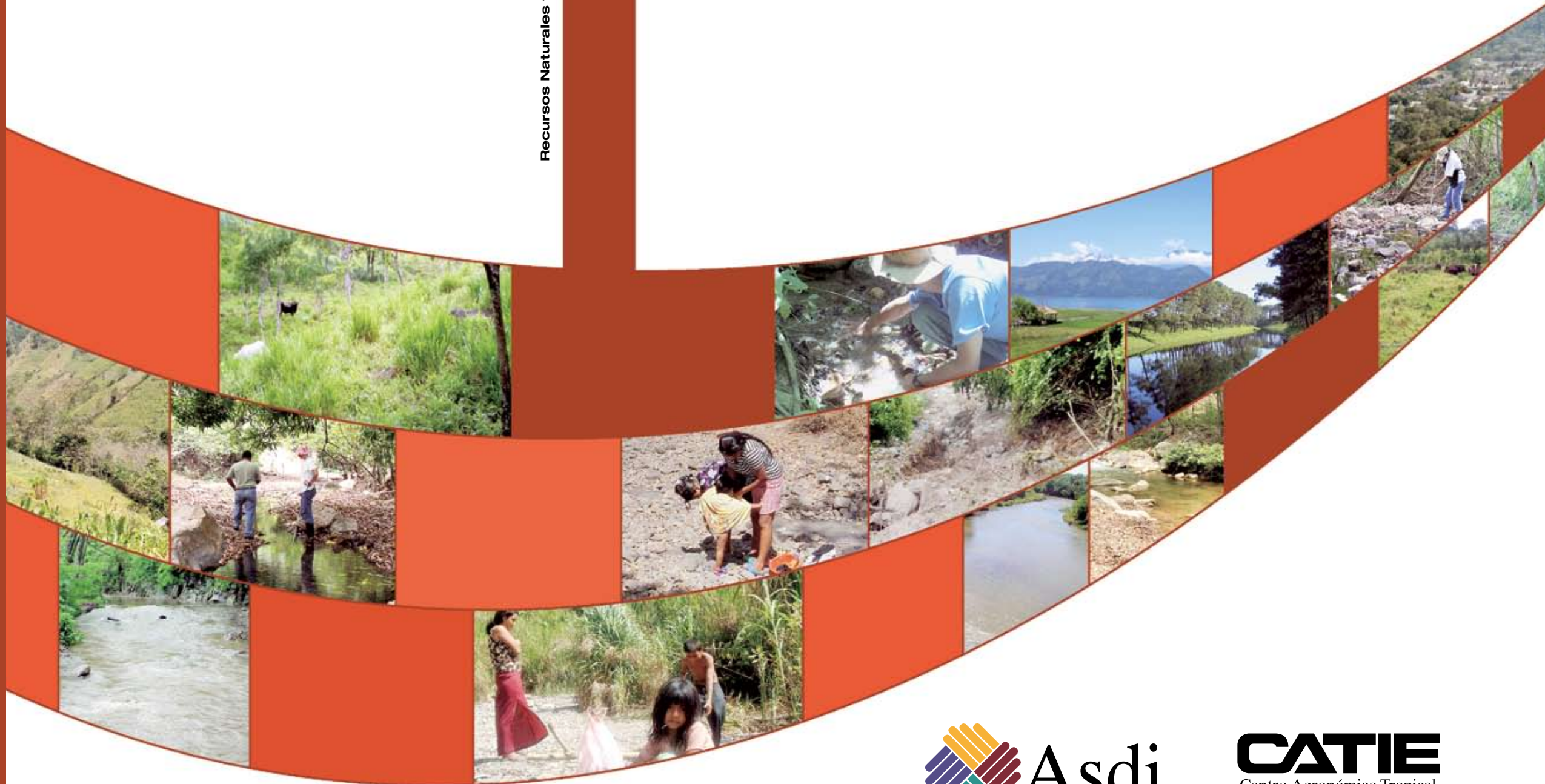
El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros regulares son: el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana y Venezuela. El presupuesto básico del CATIE se nutre de generosas aportaciones anuales de estos miembros.

Recursos Naturales y Ambiente No. 48 Agosto 2006

# Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

No. 48 Agosto 2006



**CATIE** Centro Agronómico Tropical  
de Investigación y Enseñanza

Sede Central 7170 CATIE, Turrialba, Costa Rica  
Tel. (506) 558-2000 • Fax: (506) 558-2060

[www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)



**CATIE**  
Centro Agronómico Tropical  
de Investigación y Enseñanza



La revista Recursos Naturales y Ambiente es producida por el Departamento de Recursos Naturales y Ambiente del CATIE, Sede Central.

#### Comité Editorial Internacional

José Joaquín Campos  
CATIE

Ronnie de Camino  
Universidad para la Paz

Glenn Galloway  
CATIE

Anita Varsa  
Course Coordinator National Board of Education, Finland

Manuel Guariguata  
Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal, Canadá

David Kaimowitz  
Director del CIFOR

Florencia Montagnini  
Universidad de Yale

Gerardo Budowski  
Universidad para la Paz

Kenton Miller  
World Resources Institute, USA

#### Comité Editorial Operativo CATIE

Róger Villalobos  
Lorena Orozco  
Alexandra Cortés  
Zenía Salinas  
Dietmar Stoian  
Francisco Jiménez  
Fernando Carrera

#### Equipo de Producción

Róger Villalobos, Director  
Lorena Orozco, Editora  
Emilce Chavarría, Secretaria  
Elizabeth Mora, Corrección de estilo  
Rigoberto Aguilar, Revisión bibliográfica  
Rocío Jiménez y Esteban Montero, Diseño y diagramación  
Guiselle Brenes, Internet

Esta revista está indizada en las bases de datos CABI, Tropag & Rural, Latindex, entre otras.

Impreso en papel reciclable 

**CATIE**  
Centro Agronómico Tropical  
de Investigación y Enseñanza

# Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

No. 48

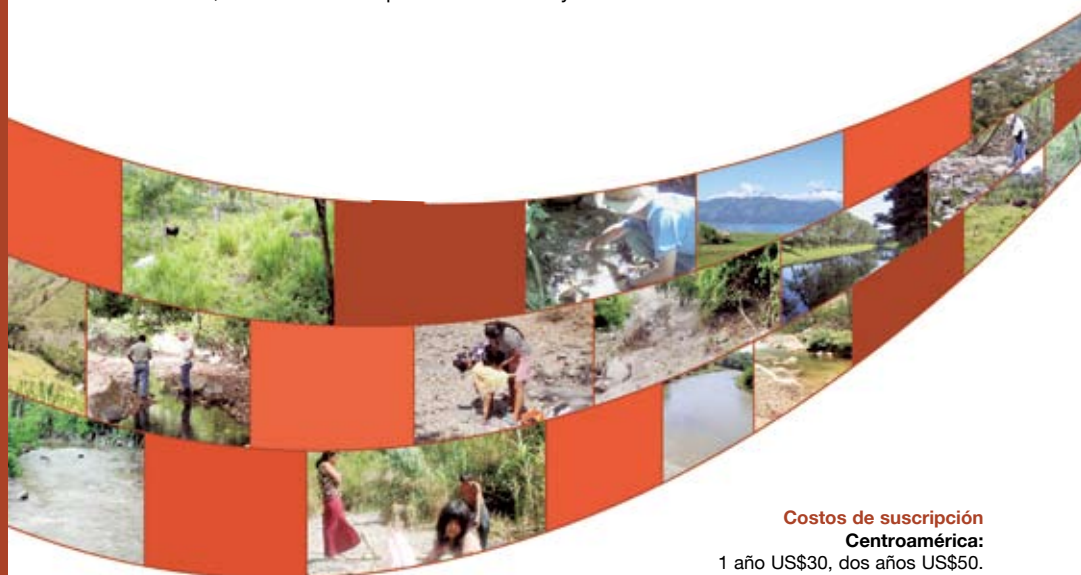
El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros regulares son: el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana y Venezuela. El presupuesto básico del CATIE se nutre de generosas aportaciones anuales de estos miembros.

*Dr. Pedro Ferreira*  
Director General

- La Revista Recursos Naturales y Ambiente, continuación de la Revista Forestal Centroamericana, es una publicación cuatrimestral, con una perspectiva integral, biológica, social y económica del aprovechamiento y conservación de los ecosistemas naturales y forestales, y del desarrollo rural.
- Nuestra Revista, que tiene un ámbito geográfico latinoamericano, espera servir como un foro donde se propongan y analicen modelos y experiencias de trabajo relevantes para los técnicos, productores y empresarios, para los gobiernos locales y para las autoridades estatales.

Los contenidos, ideas u opiniones expresadas en los artículos son responsabilidad de los autores; no reflejan necesariamente la opinión de los comités de la Revista Recursos Naturales y Ambiente ni del CATIE.

Se permite la reproducción parcial o total de la información aquí publicada, siempre y cuando se nombre la fuente, se remitan tres copias a la redacción y se utilice sin fines de lucro.



#### Costos de suscripción

**Centroamérica:**  
1 año US\$30, dos años US\$50.  
**América Latina y el Caribe:**  
1 año US\$40, dos años US\$65.  
**Resto del mundo:**  
1 año US\$50, dos años US\$85.

Sede Central CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica  
Tel. (506) 558 2312 Fax (506) 558 2051 Correo: rforesta@catie.ac.cr

[www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

**CATIE** Centro Agronómico Tropical  
de Investigación y Enseñanza

## Maestrías

Agricultura Ecológica

Agroforestería Tropical

Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad

Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas

Socioeconomía Ambiental

## Doctorado

Abarca desde genética forestal, modelos y dinámica del carbono hasta manejo integrado de plagas, sistemas de información geográfica y agroforestería.

## Campus

- Actividades multiculturales
- Complejo de residencias amuebladas
- Escuela primaria bilingüe
- Internet y correo electrónico
- Comedor
- Club internacional
- Amplios campos deportivos
- Gimnasio
- Servicio de lavandería, agencia de viajes, correo, telecomunicaciones, vigilancia

## Contacto

Escuela de Posgrado  
Sede Central, CATIE 7170,  
Turrialba, Costa Rica.  
Tel. (506) 556 1016 / 556 6431  
Fax (506) 556 0914 / 556 1533  
Correo electrónico:  
posgrado@catie.ac.cr

[www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)





4



29



47



123

FORO

El enfoque de género en CATIE:  
reflexión sobre los aspectos éticos y humanos del manejo de recursos naturales  
*Isabel A. Gutiérrez-Montes, Maricel Castillo Piniero* .....4

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Certificación del manejo integrado de microcuencas hidrográficas en América Tropical  
Parte 1. Estándar propuesto  
*Karim Musálem, Francisco Jiménez, Jorge Faustino, Yamileth Astorga* .....10

Certificación del manejo integrado de microcuencas hidrográficas en América Tropical  
Parte 2. Estudio de caso en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras  
*Karim Musálem, Francisco Jiménez, Jorge Faustino, Yamileth Astorga* .....22

Efecto del ancho del bosque ribereño en la calidad del agua en la microcuenca del  
río Sesesmiles, Copán, Honduras. Uso de comunidades de macroinvertebrados  
bentónicos como organismos indicadores.  
*Inty Arcos, Francisco Jiménez, Celia Harvey, José Joaquín Campos,  
Fernando Casanoves, Josué Anibal León* .....29

Efectos del bosque ribereño y de las actividades antrópicas en las características físico-químicas  
y en poblaciones de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras  
*Lina Andrea García, Francisco Jiménez* .....35

Manejo de recursos naturales a partir de servicios ambientales prioritarios en  
la cuenca del lago de Yojoa, Honduras  
*Jimmy Andino, José Joaquín Campos, Róger Villalobos, Cornelis Prins, Jorge Faustino* .....47

Valoración económica de la oferta del servicio ambiental hídrico en las subcuencas  
de los ríos Calico y Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua  
*María Eugenia Baltodano, Francisco Alpizar* .....57

Manejo del recurso hídrico y vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní  
en la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay  
*Rafaela M. Laino, Francisco Jiménez, Gilberto Páez, Fernando Casanoves, Sergio Velásquez* .....65

Efectos del aumento poblacional y del cambio de uso del suelo en los recursos hídricos  
en la microcuenca del río Ciruelas, Costa Rica  
*Natalia Ureña, Francisco Jiménez, J. Reynolds, Jeffry Jones, Cornelis Prins* .....75

Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica  
*Ruth Cecilia Auquilla, Yamileth Astorga, Francisco Jiménez* .....81

Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Honduras  
*Ramón Antonio Salgado, Sergio Velásquez, Francisco Jiménez, Jorge Faustino* .....93

Vulnerabilidad y áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras  
*Wilmer Reyes, Francisco Jiménez O., Jorge Faustino M., Sergio Velásquez* .....103

Parámetros hidrológicos y de cobertura vegetal en sistemas de producción ganadera  
en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica  
*Ney Ríos, Francisco Jiménez, Muhammad Ibrahim, Hernán Andrade, Freddy Sancho* .....111

EXPERIENCIAS

Percepción local acerca del papel de los bosques ribereños en la conservación de los  
recursos naturales en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras  
*Inty Arcos, Francisco Jiménez, Josué Anibal León* ..... 118

Potencial de generación de servicios ambientales en bosques ribereños de la microcuenca  
del río Araquá, São Paulo, Brasil  
*Valdemir Antonio Rodrigues, Francisco Jiménez Otárola,  
Aretha Medina dos Santos Oliveira, Fernanda Diniz Silva* ..... 123



# El enfoque de género en CATIE: reflexión sobre los aspectos éticos y humanos del manejo de recursos naturales

**Isabel A. Gutiérrez-Montes**  
*CATIE. Socióloga rural encargada  
del tema de Género y Equidad  
igutie@catie.ac.cr*

**Maricel Castillo Piniero**  
*CATIE. Antropóloga ambiental,  
Proyecto Pasturas Degradadas  
CATIE-NORAD  
mpiniero@catie.ac.cr*

El enfoque de género es una puerta de entrada para que examinemos y reflexionemos constantemente sobre los aspectos éticos y humanos de una organización como el CATIE. A partir del balance y la equidad, este enfoque nos brinda herramientas para enfrentar temas fundamentales según nuestra misión, tales como pobreza, equidad, ruralidad y acceso al poder, en la búsqueda de una agricultura y un manejo de los recursos naturales competitivos y, sobre todo, sostenibles.



Foto: Archivo CATIE.



Los asuntos de género en conservación del medio ambiente y desarrollo rural han sido tema de discusión en las instituciones de investigación y desarrollo desde la década de 1980, cuando muchos investigadores involucrados en proyectos de desarrollo reconocieron la relevancia del enfoque holístico en proyectos exitosos. Este enfoque incluía, ineludiblemente, la incorporación de los aspectos de género en todas las etapas del proceso.

Los desafíos del género en la región latinoamericana son el resultado del consenso en cuanto a la relevancia y protagonismo del tema para el desarrollo humano y la conservación de los recursos naturales. Por ello, desde hace ya más de una década, el CATIE se preocupó por la formulación de una política de género, la cual fue aprobada por la Junta Directiva en octubre de 1995 y publicada a principios de 1996. Desde entonces, el género ha sido un eje transversal en las políticas del Centro.

### Definición de género en CATIE

En febrero 2006 se realizó en la institución el Taller de Indagación Apreciativa “Género en CATIE”. En dicho taller se generó la siguiente definición concertada:

*“Género es el entendimiento de la evolución de las relaciones entre hombres y mujeres en la sociedad. Cuando hablamos de género en CATIE, hablamos de la valoración de lo masculino y lo femenino en un balance, reconociendo los diferentes y complementarios aportes y papeles productivos, reproductivos y comunitarios de hombres y mujeres en la sociedad.”*

*En CATIE se entiende que hay equidad de género, cuando hombres y mujeres tienen iguales derechos, beneficios, obligaciones y posibilidades de acceso a los recursos.”*

Diseñada para mejorar el papel del Centro en la región, la **Política de Género del CATIE** se concentra en cuatro estrategias internas y

## Estrategias internas y externas de la política de género del CATIE

### Estrategias internas

- Desarrollo de un entendimiento e implementación del enfoque de género por el personal del CATIE (a todo nivel).
- Incremento continuo del número de mujeres profesionales (incluyendo los niveles más altos de administración y toma de decisiones).
- Promoción y facilitación de la participación de más mujeres en educación de postgrado y actividades de capacitación.
- Avance en el entendimiento del género entre los estudiantes (de postgrado y de cursos de capacitación).

### Estrategias externas

- Mejora del rol del CATIE en el intercambio de conocimientos, experiencias y destrezas en asuntos de género (intra e interinstitucional).
- Desarrollo de un fuerte componente de género en actividades de educación superior, capacitación y proyección externa.
- Integración de los aspectos de género en el diseño e implementación de las propuestas de investigación (donde sea relevante).
- Inclusión de mujeres agricultoras en todas las fases de las estrategias de proyección externa (donde sea relevante).

cuatro externas (Ver recuadro). Las primeras ponen énfasis en el fortalecimiento de las capacidades humanas, particularmente del personal de la institución, incluyendo los estudiantes de postgrado. Las últimas se enfocan en una mejora continua a partir de los varios elementos de proyección externa e investigación. Las estrategias internas y externas abarcan los tres pilares básicos del CATIE: educación, investigación y proyección externa. El documento de política analiza las estrategias e incluye acciones específicas; por ello, su enfoque es más el de un plan de acción que el de un texto teórico (CATIE 1996).

Piniero et ál. (2005) hallaron que, a pesar de que en CATIE no se había hablado de un enfoque de género como tal, durante los últimos cinco años se han logrado progresos obvios en la escuela de postgrado, en los procedimientos de reclutamiento de personal de alto nivel y en proyectos específicos de investigación. Basada en el balance realizado por Piniero et ál. (2005) y en el documento de Política de Género en CATIE (1996), a finales del 2005 se preparó y aprobó una estrategia de género para el Centro. Este documento incluido como anexo en el Plan de Mediano Plazo-PMP (2006-2009) intenta mantener abiertos los espacios de discusión y análisis en el Centro, con miras a fijar los lineamientos hacia una estrategia de género a mediano plazo dentro de CATIE, la cual sintetice lo alcanzado

### Principios de la estrategia de género

- CATIE acepta la relevancia de la inclusión del enfoque de género con miras a lograr la visión y la misión del Centro.
- CATIE reconoce la importancia de la participación equitativa de hombres y mujeres en las altas esferas de administración y toma de decisiones, así como en actividades de educación superior y capacitación.
- CATIE promueve los aspectos de género en todas las fases de las actividades de investigación y desarrollo del Centro.
- CATIE asume liderazgo en la región en la generación e intercambio de conocimiento, experiencias y destrezas en asuntos de género.

hasta ahora y lo que es posible hacer a corto y mediano plazo. Además, se plantean cambios a largo plazo que van a requerir mayores recursos humanos y financieros y cambios específicos de política en las acciones del Centro.

### El género en la Visión y Misión del CATIE

**Visión:** Un Centro científico regional para la agricultura y el manejo de los recursos naturales dedicado al desarrollo rural sostenible y a la reducción de la pobreza en América tropical.

**Misión:** Contribuir a la reducción de la pobreza rural promoviendo una agricultura y manejo de recursos naturales competitivos y sostenibles, a través de la educación superior, investigación y cooperación técnica”.



En aras de alcanzar la visión y la misión del Centro, y debido a su relación con el capital social<sup>1</sup> y la sostenibilidad, el género es un criterio significativo y prioritario en las acciones del CATIE. El contar con un enfoque de género permite al CATIE y a su personal entender algunas de las dinámicas sociales alrededor del manejo de los recursos naturales de la región, en relación con los medios de vida sostenible.

Si se quiere alcanzar una reducción efectiva de la pobreza de las familias rurales -tema central en la misión y visión- la inclusión equitativa de las mujeres rurales en proyectos y acciones pudiera arrojar mejores resultados de bienestar que si sólo se incluye a los hombres. La nueva expresión de la ruralidad en muchas regiones de América Latina apunta hacia una feminización del campo, como respuesta al desplazamiento de los hombres hacia las áreas urbanas o hacia el exterior, en busca de empleo. En este nuevo contexto, el uso de criterios de género puede conducir hacia un mejor diseño y análisis de las estrategias de intervención en los diferentes niveles que los proyectos del Centro alcancen. Según el CGIAR (1995), la investigación del International Food Policy Research Institute evidencia que quien recibe el ingreso del hogar tiene un efecto significativo en el estatus de consumo y nutrición de los miembros de la familia. Los incrementos en el ingreso de los hogares liderados por mujeres, comparados con hogares liderados por hombres (o conjuntos), mostraron un mayor gasto en alimentos con mejores resultados nutricionales para los niños (Quisumbing y McClafferty 2006).

Con respecto al uso sostenible de los recursos naturales, Valdivia (2001) realiza la relación entre género y manejo de recursos. “*Las experiencias de la investigación muestran la relación entre género, manejo de recursos y la habilidad para construir bienes de ganadería y seguridad, en diferentes sistemas de producción*”. Flora (1998), por su parte asegura que el capital social “*pone énfasis en la voluntad y la capacidad de la gente para resolver los problemas y mejorar sus vidas en una empresa conjunta*”. Asimismo, Flora (2001) afirma que el capital social para la sostenibilidad depende de comunidades con intereses afines, o ubicadas en un mismo espacio geográfico. *El capital social en ambos tipos de comunidad está a menudo basado en género y tiene implicaciones para el capital natural*”. Lo que los autores mencionados sugieren puede aplicarse a la región y comunidades mandato del CATIE, donde la inclusión de hombres y mujeres en actividades de investigación y desarrollo es esencial en el proceso de construcción de capital social hacia un uso sostenible del capital natural.

### **Y entonces, ¿qué ha hecho CATIE con respecto al tema de género?**

El tema de género cobró importancia en las agendas de las agencias de cooperación internacional y organismos de investigación y desarrollo a partir de Beijing 1995<sup>2</sup>. Sin embargo, CATIE ya venía realizando acciones específicas, junto con algunos socios estratégicos (Agencia Finlandesa de Cooperación Internacional - FINNIDA, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE). Por su carácter multidisciplinario y pluralidad de focos de

acción, CATIE ha asumido el tema de maneras diversas y en diferentes direcciones. La experiencia del Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales (SBN) en Costa Rica es un buen ejemplo.

Con el apoyo del proyecto SBN se constituyó la Asociación de Productores Forestales de Villa Mills (ASOPROFOR). Así, la organización comunal y la inclusión de las mujeres en procesos organizativos demostraron que es posible poner a producir sosteniblemente pequeñas empresas forestales que generan puestos de trabajo para un sector femenino. Se evidenció un impacto en el capital humano (reflejado en un aumento en la confianza y autoestima), así como en los demás capitales de la comunidad, tanto para hombres como para mujeres. Este proceso ha facilitado la incursión de la comunidad en el campo del turismo de naturaleza. Actualmente, con los recursos económicos generados durante los primeros cinco años y con el apoyo del Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD, la organización cuenta con un centro propio de animación ambiental. Dicho centro ofrece servicios de alimentación, alojamiento y *tours* guiados. Asimismo, ASOPROFOR desempeña un rol fundamental en la transmisión de conocimientos al resto de los pobladores en temas como control, protección y educación ambiental (con impactos positivos en el capital natural). De esta forma, una organización campesina con un importante componente femenino pasó en un periodo de diez años de no contar con recursos propios, a ser la propietaria de un albergue con capacidad para alojar 15 personas y con superficie disponible de 10.000 m<sup>2</sup> para realizar diversas actividades de educación ambiental. Estos

<sup>1</sup> Capital social se refiere a las relaciones entre la gente; en especial los vínculos de confianza y reciprocidad. El capital social de las comunidades facilita que los grupos trabajen juntos por un objetivo común (Flora et ál. 2004), disminuye los costos de transacción e incrementa la eficiencia económica (Fukuyama 2001) y tiene un papel central en el manejo de los recursos naturales (Arizpe et ál. 1996).

<sup>2</sup> La Declaración y Plataforma de Acción de Beijing engloban el compromiso de la comunidad internacional en cuanto al progreso de las mujeres; aseguran que el enfoque de género se refleje en todas las políticas y programas a nivel nacional, regional e internacional; buscan mejorar el empoderamiento social, económico y político de las mujeres para mejorar su salud y acceso a la educación relevante y promueven sus derechos reproductivos.



cambios positivos en el capital social y político se revierten en mejoras a los capitales financiero y construido generando un impacto directo sobre el capital natural.

La disseminación de experiencias y conocimientos generados a través de la investigación ha sido siempre un tema central en el CATIE. Podemos nombrar algunos ejemplos de publicaciones producidas por el CATIE que tocan los aspectos de género de manera directa, antes de Beijing 95: Aguilar (1992), Nygrem (1993), Karremans (1994) y artículos sobre el tema en la Revista Forestal Centroamericana, números 10 y 12: Samaniego (1995) y Sáenz y Quirós (1995).

Posterior a Beijing 1995, CATIE continuó asumiendo el enfoque de género en las diferentes actividades de investigación, educación y proyección externa. Así, la Revista Forestal Centroamericana incluyó en su no. 20 un artículo sobre género como propuesta de cambio y compromiso (Mejía y Zúñiga 1997) y en el no. 22 un artículo sobre la política de incorporación de los conceptos de género en las actividades promovidas por PROCAFOR (Barahona 1998). Por otra parte, el proyecto MIP-AF CATIE-NORAD (1998-2003) trabajó en la producción de café, hortalizas y granos básicos con enfoque de familia; de hecho, a lo interno del Centro se le definió como “Café con enfoque de género”. Al inicio del proyecto, Cecile Fassaert, especialista de género de CATIE, publicó los enfoques del proyecto en la revista ENLACE (1998) No. 42: 14-17: “MIP con aroma de mujer”.

En 1999, la Unidad de Manejo de Bosques Naturales publicó en un boletín técnico un documento en el cual género es un concepto central (Nilsson 1999). En el año 2000, la revista *Agroforestería en las Américas* dedicó un número especial al enfoque de género (volumen 7, no. 25) y el área de capacitación ofreció durante dos años consecuti-



vos (2001 y 2002) el curso estratégico “El enfoque de género en la formulación de proyectos de desarrollo rural”.

En abril del 2001, el proyecto SIMO-CATIE-DANIDA, en colaboración con la Asociación de Egresadas de Chapingo, organizó en la sede central del CATIE el primer congreso latinoamericano “**Retos y perspectivas del desarrollo rural para alcanzar la equidad de género**”. Este evento, desarrollado alrededor de ponencias magistrales y seis mesas de trabajo, reunió en CATIE a alrededor de 200 personas de todos los países latinoamericanos, con interés y gran experiencia de trabajo en el tema, y permitió abrir espacios para un amplio intercambio de conocimientos entre los participantes.

### ¿Qué estamos haciendo en la actualidad?

CATIE está continuamente tratando de mejorar su estrategia para la incorporación de género en todos sus diferentes componentes. Por ejemplo, la identificación de indicadores sensibles al género fue una actividad priorizada en la estrategia de género. Más aun, en estos momentos, género está explícitamente incluido en 5 de los 6 objetivos del Plan de Mediano Plazo- PMP 2006- 2009 (con sus respectivos aspectos indicativos e indicadores de desempeño) y algunas de las actividades propuestas en la estrategia de género se encuentran ya dentro de los planes operativos anuales de diferentes instancias, grupos temáticos e investigadores.



Junto con la Dirección de Finanzas y Administración y la Unidad de Recursos Humanos se han revisado los reglamentos y procedimientos de contratación de personal para asegurar que se dispone de reglamentos inclusivos, y que los procedimientos de contratación de personal, en todos los niveles, promueven la equidad. Además se están promoviendo espacios para analizar y discutir abiertamente los aspectos de género. Durante el año 2006, se han desarrollado conferencias<sup>3</sup> y talleres<sup>4</sup>, tanto en la sede de Turrialba como en las Oficinas Técnicas Nacionales, para acompañar el proceso de análisis e internalización de la importancia de los aspectos de género en nuestro quehacer.

Con respecto a proyectos de investigación y desarrollo, CATIE, en colaboración con varias agencias de cooperación internacional, está aplicando el enfoque de género en sus actividades en el campo. Tres ejemplos ilustrativos son:

■ El proyecto PD-CATIE/Noruega. Desarrollo participativo de alternativas sustentables de uso de la tierra para pasturas degradadas en América Central. Este proyecto incorpora a las mujeres y otros miembros del hogar en su investigación participativa, entrenamientos, capacitaciones y actividades de experimentación en la finca. Dada la naturaleza del proyecto, el enfoque de inclusión algunas veces enfatiza la división tradicional de labores por género, pero al final, tanto hombres como mujeres reciben iguales oportunidades de participar y se les insta constantemente a hacerlo y a sistematizar los resultados de esta participación.

■ El proyecto Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca- Costa Rica (CATIE-Banco Mundial- Fideicomiso Japonés). Esta estrategia permitió a productores indígenas incrementar la producción de frutas, cacao y madera en sus fincas y, al mismo tiempo fortaleció a la Asociación Comunitaria de Mujeres Indígenas de Talamanca (ACOMUITA), para la administración de beneficios tangibles y

Al igual que en muchas otras instituciones internacionales, aun existe un largo camino antes de que CATIE logre adoptar el enfoque de género dentro de todas sus actividades sin excepción. Sin embargo, todas las acciones y estrategias están encaminadas hacia esa meta. Nuestra meta inmediata y de corto plazo es continuar promoviendo la importancia de este enfoque en los componentes de investigación, educación, desarrollo y proyección del Centro.

no tangibles provenientes del proyecto. ACOMUITA reporta un incremento importante en todos sus capitales comunitarios: social (trabajo en grupos dentro de la comunidad y con otras organizaciones fuera de la comunidad), humano (acceso a capacitaciones y elevada autoestima), político (voz

y presencia en todas las estructuras de toma de decisiones con respecto a los recursos comunitarios), financiero (mejores ingresos para más familias), cultural (inclusión de conocimiento local, prácticas agronómicas y cultivos tradicionales), construido (mejora de infraestructuras comunitarias) y natural (conservación y uso sostenible de los recursos naturales).

■ El mecanismo Oxljaj Tz'ikin CATIE- IIDEMAYA- SIDA, apoyado por la cooperación Sueca. El objetivo del mecanismo es contribuir a la reducción de la inequidad sufrida por las poblaciones mayas, garífunas y xinkas, y promover su participación e impacto en los diferentes procesos económicos, sociales, políticos y culturales enmarcados de manera relevante por los acuerdos de paz en Guatemala. Entre otros resultados, se espera que los pueblos indígenas de Guatemala y en particular las organizaciones de mujeres indígenas aumenten su participación en las instituciones públicas y en los procesos de descentralización, y sus iniciativas para incidir en la toma de decisiones en las políticas públicas.

### ¿Hacia dónde queremos ir?

Al igual que en muchas otras instituciones internacionales, aun existe un largo camino antes de que CATIE logre adoptar el enfoque de género dentro de todas sus actividades sin excepción. Sin embargo, todas las acciones y estrategias están encaminadas hacia esa meta. Nuestra meta inmediata y de corto plazo es continuar promoviendo la importancia de este enfoque en los componentes de investigación, educación, desarrollo y proyección del Centro.

<sup>3</sup> Mujer y Manejo de Recursos Naturales en América Latina, Dra. Cornelia Flora, Iowa State University, 17 feb. 2006. Visión Indígena sobre el tema de Género y Equidad: experiencia de ACOMUITA, Marina López y Faustina Torres de ACOMUITA, 21 abr. 2006. Mecanismo de apoyo a los pueblos indígenas de Guatemala: Oxljaj Tz'ikin, Dra. Irma Alicia Velásquez, 28 abr. 2006.

<sup>4</sup> Género en CATIE, facilitado por Dra. Mary Emery, Iowa State University e Isabel Gutiérrez de CATIE, 20 feb. 2006. Taller de definición de indicadores para las Oficinas Técnicas Nacionales, Panamá, 13 mar. 2006. Género en CATIE desde la oficina de Recursos Humanos, 19 may. 2006. ¿Cómo incorporar el tema de género en los proyectos de CATIE en Honduras?, facilitado por Dra. Maricel Piniero, 30 may. 2006.

En la contratación de personal, particularmente para posiciones que requieren trabajo de campo (agricultura sostenible, manejo ambiental y cuencas hidrográficas), CATIE continuará promoviendo condiciones que favorezcan la postulación de hombres y mujeres por igual. En cuanto a proyectos de investigación y desarrollo, CATIE continuará enfatizando la importancia de la inclusión del concepto de género, especialmente en áreas de manejo y conservación de los recursos naturales. De esta manera, aun los profesionales ajenos a las áreas sociales del manejo de los recursos naturales serán sensibles al enfoque de género y su relevancia.


A mediano plazo, pretendemos evaluar y sistematizar de manera participativa las experiencias de inclusión de aspectos de género dentro de proyectos claves del CATIE, así como en proyectos de nuestros aliados estratégicos. En dichas eva-

luaciones se analizarán los productos, resultados e impactos alcanzados. De igual manera, pretendemos instituir acuerdos con otros aliados estratégicos en el tema de género y recursos naturales, para mejorar y afinar el impacto de nuestros futuros proyectos. Eventualmente, lo que buscamos es que todos los involucrados en estos proyectos perciban el concepto de género no como un concepto aislado, sino como una idea transversal a incorporarse en todos los componentes del proyecto.

En colaboración con la Biblioteca Conmemorativa Orton, se está planteando un proyecto para la creación de un *Centro de Recursos de Información sobre Género y Recursos Naturales*. Adicionalmente, se han iniciado acciones para fundar la *Cátedra de Género y Equidad* (de acuerdo con los planes financieros del Centro) la cual permitirá, de manera holgada y sostenible, financiar actividades que tiendan a pro-

mover permanentemente la equidad de género en el uso sostenible de los recursos naturales. Además, se están analizando los cursos de postgrado y los cursos estratégicos de capacitación para incluir el análisis de género como foco central en la formación del capital humano que pasa por las aulas de la Escuela de Postgrado y Capacitación del CATIE.

### Consideraciones finales

El enfoque de género es pues una puerta de entrada para que examinemos y reflexionemos constantemente sobre los aspectos éticos y humanos de una organización como el CATIE. A partir del balance y la equidad, este enfoque nos brinda herramientas para enfrentar temas fundamentales según nuestra misión, tales como pobreza, equidad, ruralidad y acceso al poder, en la búsqueda de una agricultura y un manejo de los recursos naturales competitivos y, sobre todo, sostenibles. 

### Literatura citada

- Aguilar, X. 1992. Análisis de género y forestería: aspectos operacionales para planificadores, ejecutores y administradores de proyectos. San José, CR, FINNIDA/ PROCAFOR. 34 p.
- Arizpe, L; Paz, F; Velásquez, M. 1996. Culture and global change: social perceptions of deforestation in the Lacandona Rain Forest in Mexico. Ann Arbor, US, The University of Michigan Press.
- Barahona, JE. 1998. Lepaterique: una comunidad hondureña que se ha apropiado de su realidad. Revista Forestal Centroamericana 7(22): 29-33.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1996. CATIE's gender policy. Turrialba, CR, CATIE.
- Nilsson, M. 1999. Conceptos básicos en el trabajo con bosques y comunidades. Turrialba, CR, CATIE. 45 p. (Serie Técnica. Boletín Técnico no. 307).
- CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research). 1995. Report on the CGIAR Gender Program. Working Paper No. 11. Washington D.C.
- Fassaert, C. 1998. MIP con aroma de mujer. Revista Enlace No. 42:14-17.
- Flora, CB. 2001. Access and control of resources: lessons from the SANREM CRSP. Agriculture and Human Values 18(1): 41-48.
- \_\_\_\_\_; Flora, JL; Fey, S. 2004. Rural communities: legacy and change. Boulder, CO, Westview Press. 2 ed.
- Flora, JL. 1998. Social capital and communities of place. Rural Sociology 63(4):481-506.
- Fukuyama, F. 2001. Social capital, civil society and development. Third World Quarterly 22(1):7-20.
- Karremans, JAJ. 1994. Análisis de género: conceptos y métodos. Turrialba, CR, CATIE. 30 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no.215).
- Mejía, R; Zúñiga, R. 1997. Género: una propuesta de cambio y compromiso. Revista Forestal Centroamericana 6(20):31-33.
- Nygren, A. 1993. El bosque y la naturaleza en la percepción del campesino costarricense: un estudio de caso. Turrialba, CR, CATIE. Informe Técnico no. 203.
- Piniero, M; Alemán, E; Prins, C; Aguilar, L. 2005. Gender in CATIE: Experiences and lessons learned. Turrialba, CR, CATIE. Documento de trabajo.
- Quisumbing, AR; McClafferty, B. 2006. Food security in practice: Using gender research in development. Washington D.C., IFPGRI.
- Sáenz, G; Quirós, L. 1995. Producción y comercialización de carbón en pequeñas empresas forestales: un estudio de caso de Villa Mills, Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana 4(12):31-35.
- Samaniego, G. 1995. La mujer Ngobe y el Proyecto Agroforestal. Revista Forestal Centroamericana 3(10):39-41.
- Valdivia, C. 2001. Gender, livestock assets, resource management, and food security: lessons from the SR-CRSP. Agriculture and Human Values 18(1):27-39.



# Certificación del manejo integrado de microcuencas hidrográficas en América Tropical Parte 1. Estándar propuesto<sup>1</sup>

**Karim Musálem**

*Estudiante de Doctorado  
Programa Conjunto  
Universidad de Gales-CATIE  
CATIE. karim@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez**

*CATIE. fjimenez@catie.ac.cr*

**Jorge Faustino**

*CATIE. faustino@catie.ac.cr*

**Yamileth Astorga**

*Universidad de Costa Rica.  
yastorga@racsa.co.cr*

Como unidad de manejo y gestión de los recursos naturales, la cuenca se fundamenta en al menos seis principios o enfoques: la cuenca como un sistema, el enfoque socioambiental y de gestión, la cuenca como unidad de planificación y de evaluación del impacto, el agua como recurso integrador de la cuenca, la reducción de vulnerabilidad y riesgo a desastres naturales y las unidades de producción y organización como unidades de intervención.

Estos principios o enfoques determinaron la elaboración de los criterios e indicadores propuestos y su categorización aplicada a la microcuenca.

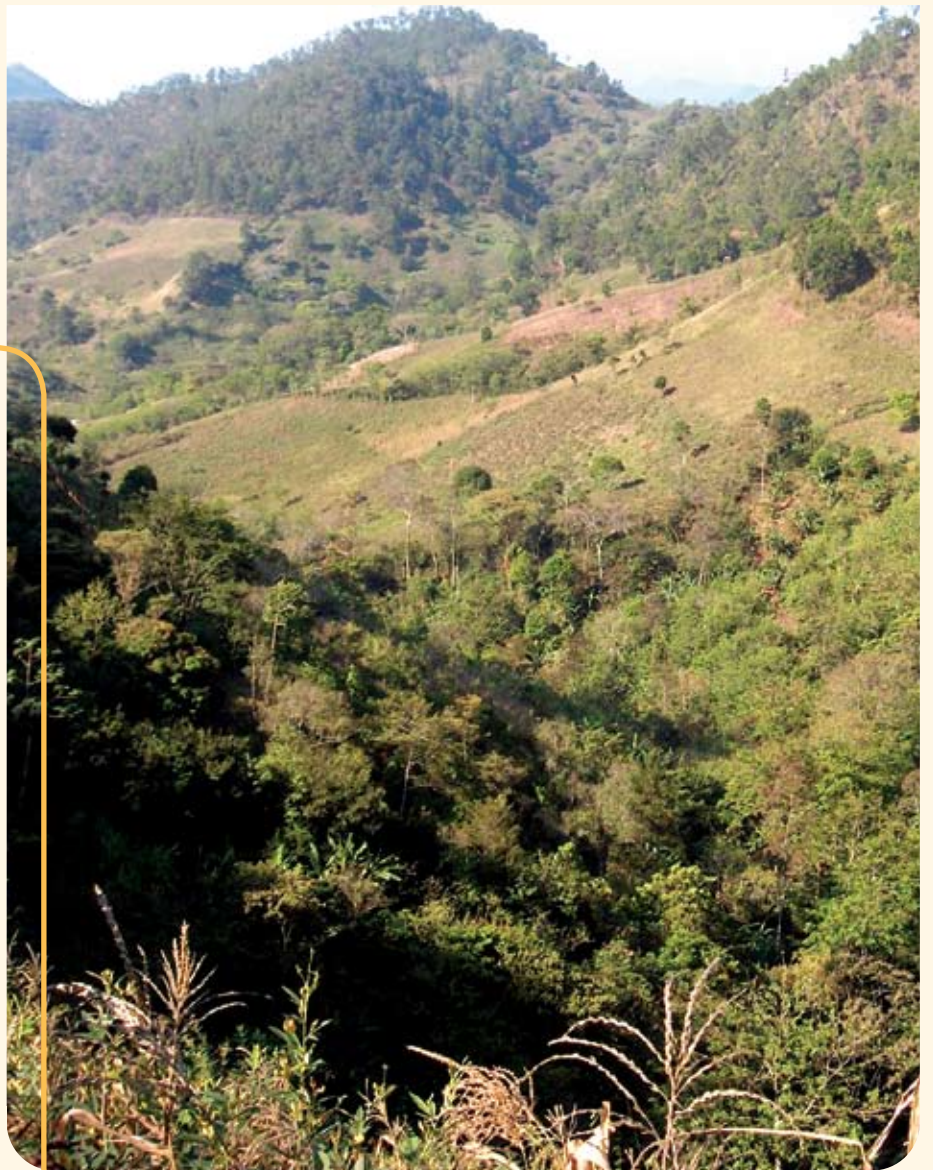


Foto: Inty Arcos.

<sup>1</sup> Basado en Musálem Castillejos, K. 2005. Propuesta metodológica para la certificación del manejo integrado de cuencas en América Tropical. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 87 p.

## Resumen

Se elaboró una propuesta de estándar para la certificación del manejo integrado de microcuencas hidrográficas en América Tropical. Se llevaron a cabo entrevistas en diferentes instituciones, universidades y organismos no gubernamentales en países de América Tropical, principalmente en Honduras, Costa Rica y México. Con la colaboración de académicos de renombre, servidores públicos y analistas políticos se generó un estándar que consta de 6 principios, 12 criterios y 18 indicadores, así como parámetros para cada indicador y una descripción completa de su uso e interpretación.

**Palabras claves:** Cuencas hidrográficas; microcuencas; ordenación de cuencas; sostenibilidad; certificación; América tropical.

## Summary

**Certification of integrated watershed management in Tropical America. Part 1: Proposed standard.** A certification standard for integrated watershed management in Tropical America was developed. Interviews were held in institutions, universities, and NGO's mainly in Honduras, Costa Rica and Mexico. Criteria and indicators were defined with the collaboration of researchers, professors, and policy analysts. The resulting standard consists of 6 principles, 12 criteria, 18 indicators, parameters for each indicator, and a detailed description for their use and interpretation.

**Keywords:** Watersheds; microwatersheds; watersheds management, sustainability; certification; tropical America.

## Introducción

Varias instituciones y estudios reconocen que diversos tipos de certificación y etiquetado ecológico buscan el desarrollo a través del buen manejo de los recursos naturales y la producción. Dichos sistemas han logrado beneficios, tanto en la conservación de los recursos como en la regulación de las actividades productivas y el incremento del valor de mercado de los productos a los cuales se aplica la certificación (Cifuentes et ál. 2000, Tepelus y Castro 2003, Bass 2004, Campos et ál. 2004). Las actividades relacionadas con el uso de los recursos naturales, tales como el ecoturismo y el aprovechamiento forestal, han mejorado después de haberse identificado criterios de medición y estándares de calidad, mediante procesos de evaluación que les ha permitido ingresar en un sistema de certificación de calidad y avanzar en el ámbito económico y de conservación de

los recursos naturales (Cifuentes et ál. 2000). Igualmente, cabe pensar que el desarrollo de mecanismos de evaluación del manejo de cuencas permitiría identificar estándares que sean reconocidos y así generar, a mediano plazo, un sistema de certificación del buen manejo de las cuencas hidrográficas en América Tropical.

Existe una amplia justificación teórica y práctica para utilizar la cuenca hidrográfica como unidad territorial para la planificación, manejo y gestión de los recursos naturales, principalmente en cuencas de montaña (Jiménez 2004a). El planteamiento del manejo integrado de cuencas hidrográficas (MICH) y sus enfoques promueven un desarrollo que podría verse beneficiado si se contara con un sistema de certificación. Asimismo, se facilitarían las acciones de manejo de los recursos naturales y del ambiente en manos de los diferentes actores que interactúan dentro de una cuenca, al

contar con un instrumento objetivo y funcional que les permita mostrar el estado actual o los avances en el manejo de la cuenca.

La cuenca hidrográfica, a través de su elemento integrador, el agua, posee componentes que permiten combinar las posibilidades de la certificación y del etiquetado ecológico. La experiencia en América Central indica que, en la mayoría de los casos, es preferible iniciar el MICH en unidades hidroterritoriales pequeñas, como las microcuencas, sin perder de vista el entorno más amplio que es la cuenca (Jiménez 2004a). Algunas propuestas para la estimación preliminar del manejo de una microcuenca (Jiménez 2004b) se basan en un diagnóstico rápido de elementos biofísicos, sociales y económicos que se pueden observar o evaluar fácilmente en la misma. Sin embargo, el enfoque de manejo de cuencas no cuenta con los indicadores específicos necesarios para la certificación. Esta propuesta meto-



dológica, por ejemplo, ha surgido de la integración de experiencias de certificación de los recursos naturales, la interpretación correcta de los principios del manejo integrado de cuencas y de la generación de opciones viables ligadas a las condiciones, aptitudes y potencial de la microcuenca hidrográfica.

La certificación del manejo de cuencas se considera, en este trabajo, como una estrategia de tipo político e institucional con efectos en los otros subsistemas, la cual permite respaldar las actividades de manejo según el potencial de la microcuenca.

### Metodología

Esta propuesta metodológica para la certificación del manejo integrado de cuencas toma como base un principio fundamental del MICH a nivel de microcuenca: el principio de sistema compuesto por varios subsistemas que se relacionan entre ellos de manera dinámica. En su diseño se consideraron experiencias de certificación en otros campos; otros esquemas de etiquetado ecológico, orgánico o de entrega de galardones; estándares, normas o evaluación de efectividad (Fig. 1).

Un elemento básico para la certificación es la generación de indicadores; para ello también es necesario comprender el esquema base para la instrumentación de un proceso verificador, el cual –según Pokorny et ál. (2004) debe cubrir los siguientes pasos claves: 1) se generan criterios a partir de un principio que funcione como directriz; 2) a partir de los criterios, se definen los indicadores; 3) se definen verificadores que incluyan una descripción de cómo se van a evaluar, en qué sitio, con qué métodos, con qué muestra y frecuencia de evaluación; 4) se definen normas para cada verificador, las cuales deben ser parte de un proceso de aprendizaje y ajustarse continuamente para garantizar su viabilidad. Este proceso, utilizado en la certificación forestal, pudiera ser usado en la certificación del manejo de cuencas.

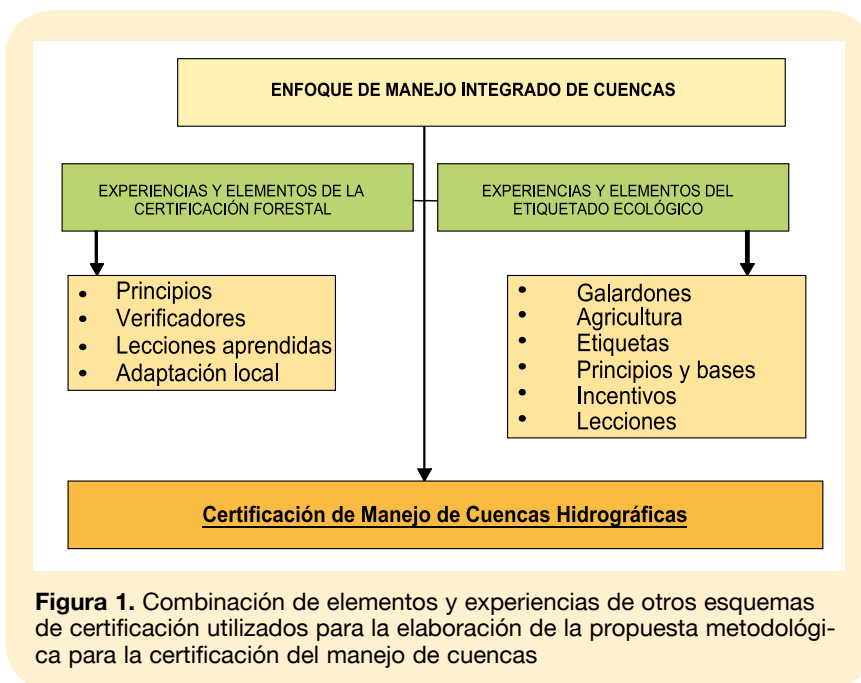
Como principales herramientas, se emplearon la revisión de literatura de experiencias en certificación forestal y etiquetado ecológico, la recopilación de información ofrecida por expertos en el tema y en campos afines y la validación del estándar propuesto en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras (Parte 2, en este

mismo número de la RRNA). La revisión de literatura permitió determinar tendencias generales y definir una propuesta de principios, criterios e indicadores (PC&I).

### Definición de tendencias entre los criterios e indicadores para la certificación

Para la definición de tendencias en los criterios e indicadores se realizó una búsqueda de experiencias y propuestas para la estimación del manejo de una cuenca. Para ello se hizo un diagnóstico de los elementos biofísicos, sociales y económicos que se pueden observar o evaluar en la microcuenca. El propósito principal era obtener la información necesaria que permitiera determinar si una cuenca está mal o bien manejada y qué indicadores son los más críticos. La búsqueda se realizó a través de la guía de expertos en tres bibliotecas de instituciones reconocidas de México en el área de MICH: la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Chapingo y el Colegio de Posgraduados.

Además, se identificaron expertos en el tema de MICH en diferentes instituciones, a los cuales se les aplicó una entrevista semiestructurada (Geilfus 1997). Durante la primera fase de la investigación se realizaron entrevistas a un grupo de colaboradores de diferentes instituciones en México (Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México; Programa Forestal del Colegio de Posgraduados, Estado de México; Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Posgraduados, Estado de México; Comisión Nacional Forestal, Sede Central, Jalisco; Comisión Nacional Forestal, Gerencia Regional, Oaxaca; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Estado de México; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Jalisco; Universidad de Guadalajara, Jalisco y Proyecto



**Figura 1.** Combinación de elementos y experiencias de otros esquemas de certificación utilizados para la elaboración de la propuesta metodológica para la certificación del manejo de cuencas

Mesmis (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sostenibilidad), Jalisco). El mismo proceso se realizó en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Costa Rica con la participación de investigadores del área de Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. En una segunda fase, se recopilaron las opiniones de estos investigadores y funcionarios en cuanto a la certificación de cuencas hidrográficas. La información obtenida fue esquematizada y sirvió de fundamento para los principios y criterios que deben dirigir el proceso para generar la metodología para la certificación de cuencas. Finalmente, los PC&I obtenidos fueron sometidos a consideración y análisis de informantes claves en Copán, Honduras, incluyendo dos investigadores residentes del CATIE, dos miembros del Programa Focucenas II y un representante de la Municipalidad de Copán.

### Identificación del grupo de criterios e indicadores

La obtención del estándar se realizó a partir de los conocimientos de los entrevistados. El estándar definido tuvo 6 principios, 10 criterios y 18 indicadores con sus respectivos parámetros y niveles. Los criterios e indicadores definidos (Cuadro 1) fueron el producto de diversas comunicaciones con grupos de investigadores expertos en manejo de cuencas, funcionarios públicos que han desarrollado proyectos a nivel de cuencas y que gestionan de manera regular recursos para su aplicación, representantes de instituciones, directores de organizaciones de investigación, enseñanza o desarrollo forestal.

Como procedimiento estándar se solicitó a cada uno de los colaboradores que aportara, según su perspectiva, uno o varios criterios e indicadores. Estos C&I fueron agrupados siguiendo la estructura recomendada por Pokorny et ál. (2004) para la

### Cuadro 1. Principios, criterios e indicadores definidos para evaluar el manejo integrado de microcuencas hidrográficas rurales

#### Principio 1. La cuenca como sistema

Criterio 1.1. Visión y funcionamiento integral de la cuenca

Indicador 1.1.1. Nivel de interconexión entre los actores e instituciones

Indicador 1.1.2. Nivel de convergencia

Criterio 1.2. Interconexiones entre la parte alta, media y baja consideradas en el manejo

Indicador 1.2.1. Nivel de protección de las zonas de conservación en la microcuenca

#### Principio 2. El enfoque socioambiental y de cogestión

Criterio 2.1. Capitalización e inversiones

Indicador 2.1.1. Nivel de capitalización y mecanismos de captación de recursos: administración y ejecución

Criterio 2.2. Cogestión a través de interinstitucionalidad, estrecha relación de actores públicos y privados

Indicador 2.2.1. Nivel de interinstitucionalidad en la microcuenca

Criterio 2.3. El ser humano, la familia y sus organizaciones como objetivo central de la gestión de cuencas

Indicador 2.3.1. Nivel de consideración del MICH en los programas de infraestructura

Indicador 2.3.2. Nivel de educación ambiental

Indicador 2.3.3. Nivel de consideración del MICH en los centros de salud

Indicador 2.3.4. Nivel de consideración del MICH en las vías de comunicación

#### Principio 3. La cuenca como unidad de planificación y evaluación del impacto

Criterio 3.1. La cuenca como unidad de planificación para la gestión territorial

Indicador 3.1.1. Planeación de actividades de intervención con enfoque de microcuencas

#### Principio 4. El agua como recurso integrador

Criterio 4.1. La calidad de agua como función del buen manejo de la cuenca

Indicador 4.1.1. Acarreo de sedimentos o presencia y evidencia de contaminantes en el agua

Indicador 4.1.2. Presencia de basura y desechos contaminantes

Criterio 4.2. La cantidad de agua como función del buen manejo de la cuenca

Indicador 4.2.1. Cantidad adecuada de agua a lo largo de todo el año

#### Principio 5. Reducción de la vulnerabilidad y riesgo a desastres naturales

Criterio 5.1. El manejo de cuencas para reducir la vulnerabilidad

Indicador 5.1.1. Zonas de amortiguamiento o bosques de galería en las orillas de los ríos

Indicador 5.1.2. Nivel de inclusión de la gestión del riesgo en los planes de gestión de cuencas

Indicador 5.1.3. Nivel de reconocimiento de la relación entre manejo de los recursos naturales y prevención de desastres.

#### Principio 6. Las unidades de producción y organización como unidades de intervención

Criterio 6.1. La intervención según el tipo de prácticas adoptadas en las unidades de producción

Indicador 6.1.1. Uso de tecnologías amigables en las zonas productivas de la cuenca

Indicador 6.1.2. Nivel de adopción de la producción conservacionista y las ecoempresas

instrumentación de un verificador. Dicha estructura implica la búsqueda y determinación de principios que justifiquen y sustenten cada criterio.

En la definición de C&I se tomaron en cuenta, además, las opiniones recavadas con las entrevistas semi-estructuradas sobre el marco legal e institucional y los posibles C&I que debería contener la certificación de cuencas. También se incluyó información bibliográfica sobre parámetros para evaluar el buen o mal manejo de una cuenca. Toda la información se procesó y discutió en dos

talleres internos entre los autores; de allí salió la propuesta final de C&I.

### Resultados

#### Determinación de principios, criterios, indicadores y parámetros

Un elemento central de este estudio fue la determinación de los principios, criterios e indicadores específicos para el manejo integrado de cuencas hidrográficas (Cuadro 1). Además, para cada indicador se definieron los parámetros y niveles que permiten evaluarlo (Cuadro 2).



## Cuadro 2.

Niveles y parámetros para cada uno de los indicadores identificados en la propuesta metodológica

Indicadores	Niveles y parámetros
1.1.1 Nivel de interconexión entre los actores e instituciones dentro de la cuenca	Muy alto Las organizaciones tienen un enfoque alto y claramente holístico e integral. Las instituciones reconocen el trabajo realizado por otras organizaciones y su importancia.
	Alto Las organizaciones tienen un enfoque holístico e integral medianamente alto. En buena medida, las instituciones reconocen el trabajo realizado por otras organizaciones y su importancia.
	Bajo Se tiene conocimiento del trabajo de otras instituciones del área de manera muy superficial o se considera poco importante.
1.1.2 Nivel de convergencia	Muy alto No se tiene conocimiento de las actividades que otros realizan, o no se reconoce en absoluto su importancia.
	Muy bajo No se tiene conocimiento de las actividades que otros realizan, o no se reconoce en absoluto su importancia.
	Muy bajo No se tiene conocimiento de las actividades que otros realizan, o no se reconoce en absoluto su importancia.
1.1.2 Nivel de convergencia	Muy alto Existe una alta capacidad de asociarse e integrar esfuerzos, la cual se evidencia en la existencia de alianzas y convenios entre instituciones. Existe un plan de manejo compartido, conocido y ejecutado por los actores.
	Alto La capacidad de asociarse e integrarse es evidente en algunas alianzas entre instituciones, pero son insuficientes para lograr una convergencia completa. Existe un plan de manejo compartido, conocido y ejecutado por la mayoría de actores.
	Bajo La capacidad de asociarse e integrarse es muy poco clara. Existen algunos proyectos o convenios, pero son escasos o se encuentran en elaboración. No existe un plan de manejo.
1.2.1 Nivel de protección de las zonas de conservación en la microcuenca	Muy bajo No hay evidencias de asociaciones ni de integración de esfuerzos. No existen alianzas entre instituciones, ni es posible detectar convenios en instituciones. Los proyectos se dan de manera independiente. No existe un plan de manejo.
	Muy alto Existe una mesa de cooperantes y se maneja un fondo ambiental dirigido al manejo de cuencas. Existen esquemas eficientes y sostenibles para el pago por servicios ambientales o de compensación ambiental.
	Alto Existe una mesa de cooperantes; sin embargo, los aportes son irregulares o inciertos. Los esquemas de compensación ambiental difícilmente llegan hasta el nivel local.
2.1.1 Nivel de capitalización y mecanismos de captación de recursos: administración y ejecución	Bajo No existen cooperantes bien definidos o suelen ser muy irregulares. Los esquemas de pago por servicios ambientales dependen, en su gran mayoría, de insumos externos inciertos cuya autosostenibilidad no ha sido comprobada.
	Muy bajo No existe una mesa de cooperantes ni un fondo ambiental que permita la captación de recursos. No existe ni se aplica un esquema de pago por servicios ambientales o de compensación ambiental.
	Muy bajo No existe una mesa de cooperantes ni un fondo ambiental que permita la captación de recursos. No existe ni se aplica un esquema de pago por servicios ambientales o de compensación ambiental.
2.1.1 Nivel de capitalización y mecanismos de captación de recursos: administración y ejecución	Muy alto Existe una mesa de cooperantes y el manejo de un fondo ambiental dirigido al manejo de cuencas. La aplicación de esquemas de pago por servicios ambientales o de compensación ambiental es eficiente y sostenible.
	Alto Existe una mesa de cooperantes; sin embargo, los aportes son irregulares o inciertos. Los esquemas de compensación ambiental difícilmente llegan hasta el nivel local.
	Bajo No existen cooperantes bien definidos o suelen ser muy irregulares. Los esquemas de pago por servicios ambientales dependen, en su gran mayoría, de insumos externos inciertos cuya autosostenibilidad no ha sido comprobada.
2.1.1 Nivel de capitalización y mecanismos de captación de recursos: administración y ejecución	Muy bajo No existe una mesa de cooperantes ni un fondo ambiental que permita la captación de recursos. No existe ni se aplica un esquema de pago por servicios ambientales o de compensación ambiental.
	Muy bajo No existe una mesa de cooperantes ni un fondo ambiental que permita la captación de recursos. No existe ni se aplica un esquema de pago por servicios ambientales o de compensación ambiental.
	Muy bajo No existe una mesa de cooperantes ni un fondo ambiental que permita la captación de recursos. No existe ni se aplica un esquema de pago por servicios ambientales o de compensación ambiental.

2.2.1 Nivel de interinstitucionalidad en la microcuenca	Muy alto Los organismos e instituciones trabajan de manera coordinada e informada por medio de una mesa de cogestión en todos los niveles. Se reconoce por lo menos una institución o grupo que integre las funciones de un comité de cuencas. Existen planes de cogestión reconocidos y se incorporan lecciones aprendidas.
	Alto Existe una mesa de cogestión; sin embargo, aun son escasos los proyectos que coordinen las capacidades de las instituciones. El comité de cuencas no tiene las capacidades que le permitan funcionar bien.
	Bajo Existen algunos proyectos y planes de cogestión; sin embargo, la conformación del comité de cuencas y de la mesa de cogestión aun tiene dificultades para funcionar regularmente.
	Muy Bajo Las instituciones trabajan de manera independiente, sin coordinación. Existen proyectos independientes en cada institución. No hay ningún grupo que integre o tenga la capacidad de integrar las funciones de un comité de cuencas.
2.3.1 Nivel de consideración del MICH en los programas de infraestructura	Alto La infraestructura diseñada integra aspectos de manejo, tales como la construcción en sitios pocos vulnerables, el bajo impacto ambiental y la reducción de la erosión.
	Bajo La infraestructura que se diseña o construye no considera aspectos de manejo integrado de cuencas o no se considera importante.
2.3.2 Nivel de educación ambiental	Suficiente Se integran aspectos ambientales en los programas curriculares. Existen programas de educación ambiental, de cuencas o recursos naturales.
	Insuficiente No se integran regularmente aspectos ambientales en los programas curriculares.
2.3.3 Nivel de consideración del MICH en los centros de salud	Suficiente Se involucra al sector salud en campañas ambientales.
	Insuficiente No se involucra al sector salud en campañas ambientales.
2.3.4 Nivel de consideración del MICH en las vías de comunicación	Suficiente Existen vías de comunicación que consideran aspectos de protección a taludes, reducción de la erosión o vulnerabilidad en su diseño e infraestructura.
	Insuficiente Las vías de comunicación no consideran aspectos de protección a taludes o reducción de vulnerabilidad. No es posible garantizar el transporte seguro y continuo a poblados vecinos o ciudades.
3.1.1 Planeación de actividades de intervención con enfoque de microcuencas	Muy alto Los planeación de los programas de los principales ámbitos productivos están enfocados a la microcuenca, con la visión amplia de la cuenca, o reconocen este enfoque.
	Alto La planeación a través de este enfoque existe pero aun es insuficiente. Existen algunos pocos programas que han sido planeados tomando en cuenta a la microcuenca.
	Bajo El esquema de planeación no toma en cuenta la delimitación de cuencas. Las acciones, sin embargo, sí toman en cuenta la relación causa – efecto en las microcuencas.
	Muy bajo Los programas productivos de la zona no tienen y no siguen una delimitación hidroterritorial o ambiental, en cambio siguen límites políticos o predominantemente no naturales.
4.1.1 Acarreo de sedimentos o presencia y evidencia de contaminantes en el agua	Muy alto No hay acarreo de sedimentos ni presencia de contaminantes. No se observa ninguna coloración o turbidez en los cauces de la microcuenca. No son evidentes procesos de eutrofización o la concentración de sedimentos. Existen estudios que determinan que el agua es adecuada para consumo humano y otras actividades productivas de la zona.
	Alto Muy poco acarreo de sedimentos y poca presencia de contaminantes. Se observa una muy ligera turbidez o coloración en los cauces de la microcuenca. Existen estudios que indican la necesidad de métodos sencillos de purificación del agua para consumo humano o productivo, y estos se aplican de manera regular.
	Bajo Alto acarreo de sedimentos y presencia de contaminantes. Es perceptible la coloración o turbidez en el cauce principal de la microcuenca. No existen estudios de calidad del agua o no se encuentran disponibles. No se reportan problemas por esta causa.



	<p>Muy bajo Muy alto acarreo de sedimentos y muy alta presencia de contaminantes. Es muy notable una fuerte turbidez y coloración excesiva en el cauce principal. Se reportan frecuentes problemas de salud y en las actividades productivas; hay estudios que demuestran esta situación.</p>
4.1.2 Presencia de basura y desechos contaminantes	<p>Sin presencia Los ríos de la microcuenca se encuentran en su totalidad libres de desechos orgánicos o basura en sus orillas. No hay depósitos de basura cercanos a los cauces.</p>
	<p>Muy poca presencia Muy poca presencia de desechos en las orillas de los ríos. Se detectan sólo pocos sitios aislados o muy poca presencia de basura en forma dispersa.</p>
	<p>Alta presencia Es común encontrar basura de manera dispersa en los cauces cercanos a las zonas urbanas, sin embargo no en forma de tiraderos.</p>
	<p>Muy alta presencia Se encuentran desechos orgánicos o basura sobre las orillas del cauce en forma constante. Especialmente en zonas urbanas. Existen zonas de basureros cercanos a los cauces.</p>
4.2.1 Cantidad de agua adecuada a lo largo de todo el año	<p>Cantidad adecuada Los periodos máximos y mínimos de precipitación son tomados en cuenta y se utilizan para la nivelación de las actividades productivas a lo largo de todo el año. Existen reservas de agua que abastecen a las poblaciones y actividades productivas en tiempos de baja precipitación. Se procura la recarga de estas reservas para garantizar su continuidad. Existen obras de almacenamiento de agua en épocas de escasez. Se utilizan técnicas de riego controlado.</p>
	<p>Cantidad inadecuada Las actividades productivas dependen de las épocas de máxima precipitación, no se realizan obras ni se aplican técnicas para el almacenamiento de humedad. No hay capacidad de recarga de la reserva. Se dan inundaciones y frecuentes variaciones extremas.</p>
5.1.1 Zonas de amortiguamiento o bosques de galería en las orillas de los ríos	<p>Muy alto nivel de conservación Se conservan todas las zonas de bosques de galería a lo largo de los cauces principales y tributarios. Las actividades productivas cercanas a los cauces respetan estas zonas de protección.</p>
	<p>Alto nivel de conservación Se conservan aun la mayoría de las zonas de bosques de galería a lo largo de los cauces principales y tributarios. Las actividades productivas cercanas suelen respetar estas zonas de conservación.</p>
	<p>Muy bajo nivel de conservación Han desaparecido alrededor de la mitad de las zonas de bosques de galería a lo largo de los cauces principales y tributarios. Hay evidencia reciente de su desaparición.</p>
	<p>Muy bajo o nulo nivel de conservación Los bosques de galería y zonas de amortiguamiento a orillas de los ríos son inexistentes o muy reducidos. No hay regulaciones o no se cumplen con respecto a su conservación. No ha habido esfuerzos importantes para la revegetación de estas zonas.</p>
5.1.2 Nivel de inclusión de la gestión del riesgo en los planes de gestión de cuencas	<p>Muy alto Existen planes de emergencia en todos los niveles, regionales y locales. Se cuenta con recursos y se encuentran en funcionamiento con comités de emergencia y un fondo de desastres naturales. No hay viviendas localizadas en sitios visiblemente vulnerables. Se observan obras y estructuras destinadas al control de cárcavas y protección de taludes.</p>
	<p>Alto Existen planes de emergencia y un comité, pero los recursos son limitados o irregulares para su funcionamiento óptimo. Con poca frecuencia se ven viviendas en zonas vulnerables, pero se realizan esfuerzos para reubicarlas. Existen obras de control de cárcavas, sin embargo no son frecuentes o no se encuentran planeadas en su totalidad.</p>
	<p>Bajo Existe un grupo de civiles interesados y regularmente organizados, pero sin apoyo ni reconocimiento ni recursos para el establecimiento de un comité. No hay planes formales de emergencia. Las obras y estructuras son insuficientes.</p>
	<p>Muy bajo No existe un comité de emergencia en la microcuenca. No hay planes de emergencia. Hay un alto número y concentración de viviendas en sitios vulnerables. Cárcavas sin control. Ausencia total de estructuras u obras mínimas para la suavización de taludes.</p>
5.1.3 Nivel de reconocimiento de la relación entre manejo de los recursos naturales y prevención de desastres.	<p>Muy alto nivel de reconocimiento Existen campañas de educación y capacitación sobre el papel del manejo de los recursos naturales en la prevención de desastres. Estas campañas son frecuentes y se reflejan en las políticas gubernamentales y programas de conservación.</p>

	<p>Alto nivel de reconocimiento Existen campañas, aunque insuficientes, de educación y capacitación sobre el papel de manejo de los recursos naturales. Se reconoce esta relación sin embargo se refleja poco en las políticas gubernamentales y en las actitudes de la población.</p>
	<p>Bajo nivel de reconocimiento Existen muy escasas campañas o capacitaciones sobre el papel de manejo de los recursos naturales. No se reconoce la relación o es muy escasa. Algunas políticas a nivel local consideran esta relación, sin embargo no influyen en las actitudes de la población.</p>
	<p>Muy bajo o nulo nivel de reconocimiento No existen campañas de educación ni capacitación sobre el papel de los recursos naturales en la prevención de desastres naturales. Esta relación no se considera en políticas ni actitudes dentro de la microcuenca.</p>
6.1.1 Uso de tecnologías amigables en las zonas productivas de la cuenca	<p>Muy alto Las actividades productivas y el uso de los recursos naturales de la cuenca se encuentran reguladas en su mayoría y tienden al uso de tecnologías limpias, producción orgánica, uso mínimo de pesticidas y manejo integrado de plagas.</p>
	<p>Alto Una buena parte de las actividades productivas tiende a la utilización de esquemas productivos amigables con el ambiente, sin embargo todavía se detectan algunas prácticas convencionales.</p>
	<p>Bajo Las actividades productivas incorporan el uso de algunas pocas tecnologías amigables, sin embargo aun se rigen en su mayoría por prácticas convencionales.</p>
	<p>Muy bajo Las actividades de aprovechamiento y productivas utilizan métodos convencionales, la aplicación de tecnologías limpias es inexistente.</p>
6.1.2 Nivel de adopción de la producción conservacionista y las ecoempresas	<p>Muy alto Existen grupos grandes de fincas que han adoptado sistemas de producción orgánicos de bajo impacto ambiental, en combinación con sistemas agroforestales. Existen grupos y alianzas de productores orgánicos que estandarizan los productos y facilitan su comercialización.</p>
	<p>Alto Existen algunos grupos exclusivos de fincas que han adoptado sistemas de producción orgánicos en combinación con sistemas agroforestales. Estos grupos se han organizado pero su representatividad en la microcuenca aun es reducida.</p>
	<p>Bajo Los sistemas productivos orgánicos son reducidos y poco organizados. Existen algunos esfuerzos particulares con éxito, pero no es una práctica en adopción para el resto de las fincas.</p>
	<p>Muy bajo No existen sistemas de producción orgánicos o de bajo impacto. No existen grupos organizados de agricultores orgánicos. Aun es común encontrar impulsos o programas para la producción basada en el uso de agroquímicos. La población agrícola adopta fácilmente el uso de agroquímicos. No hay adopción de sistemas agroforestales.</p>

## Aplicación de la metodología

### *Etapa 1. Determinación de las condiciones al inicio del proceso*

El proceso metodológico para evaluar si el buen manejo en una microcuenca puede ser certificado parte de la selección del equipo humano que realizará la evaluación y la definición de los requisitos previos que debe cumplir la microcuenca. Debido a la visión integral del enfoque de cuencas, es recomendable que el equipo de auditores (o certificadores) esté compuesto por 4 ó 5 personas con formación en distintas

áreas del desarrollo y que puedan aportar en lo social, económico, biofísico y ambiental. Es recomendable que el equipo coordine todo el proceso de evaluación para la certificación. El perfil de las personas integrantes del equipo ideal incluye, obligatoriamente, conocimientos y nociones profundas en MICH, objetividad, capacidad de análisis y conocimiento y capacidad de manejar la herramienta de certificación que será aplicada. Un taller de un día puede ser suficiente para conocer la herramienta.

### *Etapa 2. Relevancia y evaluación de los criterios e indicadores*

Cada persona dentro del grupo debe tener a la mano el conjunto de C&I. Para cada indicador en la matriz, se dan dos tipos de valores: (r) valores de relevancia y (e) valores de calificación o evaluación. (r) responde a la pregunta *¿Qué tan importante es este indicador para determinar el manejo integrado de microcuencas?*, y se califica con una escala de cinco niveles:

- 1 = Muy poca relevancia
- 2 = Poca relevancia



- 3 = Moderada relevancia
- 4 = Alta relevancia
- 5 = Extrema relevancia

(e) responde a la pregunta *¿Cuáles son las condiciones que predominan en el momento de la evaluación en la microcuenca?* Los parámetros pueden tener dos o cuatro valores, dependiendo del número de niveles de cada parámetro en cada indicador; si el parámetro tuviese dos niveles se utilizan los valores extremos 1 ó 4:

- 1 = Nivel muy bajo
- 2 = Nivel bajo
- 3 = Nivel alto
- 4 = Nivel muy alto

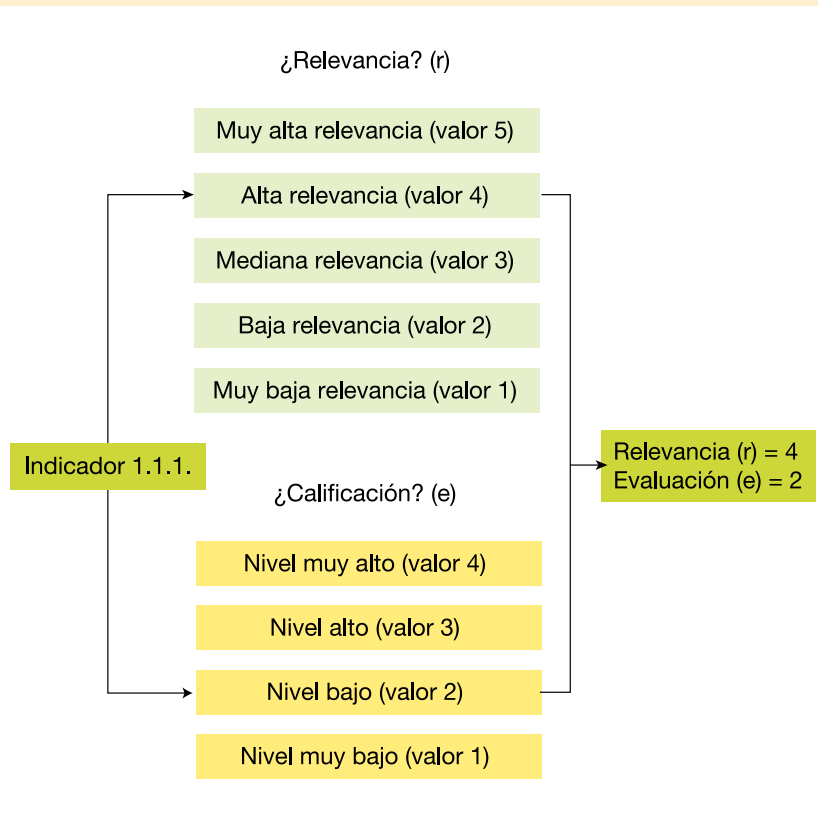
La Fig. 2 muestra un ejemplo de cómo completar el formulario de evaluación. En este caso, el evaluador otorgó los siguientes valores al indicador 1.1.1: relevancia moderada (r = 3) y nivel muy bajo de interconexión (e = 1). Para el 1.1.2, los valores fueron r = 5 y e = 1; o sea que el indicador es muy relevante, aunque el nivel de convergencia es muy bajo en esta microcuenca. Otro evaluador dio un valor de relevancia alto (r = 4) para el mismo indicador 1.1.1; esto significa que, desde su punto de vista, este indicador es valioso (importante) para conocer si una microcuenca está siendo bien o mal manejada. El mismo evaluador considera que la microcuenca tiene un bajo nivel de avance en este sentido (e = 2) (Fig. 3).

Cada evaluador trabaja de manera independiente. Al final, se registran los datos aportados por cada evaluador para todos los indicadores. Luego se calcula un promedio ponderado, en el cual (r) es el valor de peso o crédito y (e) es el valor de calificación o evaluación. La relevancia (r) y la calificación del estado actual (e) son multiplicados y ponderados mediante una fórmula simple de promedio ponderado:

$$CE = \frac{\sum_i^n r \times e}{E}$$

P	C	I	Principio	Criterio	Indicador	Parámetros	Valores*
1			La cuenca como sistema	La cuenca es un todo....			
		1.1		La visión...			r e
		1.1.1			Nivel de interconexión...		3
						Nivel muy alto ...	
						Nivel alto ...	
						Nivel bajo...	
						Nivel muy bajo...	1
		1.1.2			Nivel de convergencia.		5
						Muy alto...	1
						Muy bajo...	1

**Figura 2.** Esquema del formulario de evaluación de indicadores según su relevancia (r) y estado actual (e) de la microcuenca



**Figura 3.** Ejemplo de evaluación de la relevancia de un indicador y el estado actual en la microcuenca

donde: CE= calificación otorgada a la microcuenca por el evaluador; r= relevancia otorgada a los indicadores; e= calificación otorgada a los indicadores; E= sumatoria de los valores de relevancia (r).

La calificación global de la microcuenca (CG) es el promedio de los valores (CE):

$$CG = \frac{\sum_i^n CE}{n}$$

donde: CG= calificación global de la microcuenca; CE= calificación otorgada a la microcuenca por el evaluador; n= número de evaluadores.

Finalmente, el valor CG puede ser fácilmente transformado en un valor porcentual (CG%), si se conoce la calificación máxima obtenible para la microcuenca. Es decir, sustituyendo en las fórmulas CE y CG los valores (e) por los valores máximos (e<sub>max</sub> y CE<sub>max</sub>) de la siguiente manera:

$$CE_{max} = \frac{\sum_i^n r \times e_{max}}{E}$$

y

$$CG_{max} = \frac{\sum_i^n CE_{max}}{n}$$

donde: CE<sub>max</sub>= calificación máxima posible asignable por el evaluador; e<sub>max</sub>= valor máximo posible por indicador; CG<sub>max</sub>= calificación global máxima para la microcuenca.

Desde un punto de vista práctico, se puede explicar el proceso de calificación de la siguiente manera: se cuenta, por un lado, con un valor de relevancia del indicador, el cual representa el punto de vista y la importancia que le asigna el evaluador, por lo que funciona como un valor de crédito o peso. Por otro lado, se tiene la calificación de estado actual del indicador en la microcuenca, la cual es la interpretación que el evaluador hace de la microcuenca y de las condiciones que él cree que reflejan la situación y realidad de la misma.

### Etapa 3. Interpretación de los resultados

Se podría hacer un gran número de análisis a partir de los datos recolectados y procesados. Sin embargo, con fines de certificación, la calificación global es la que decide si la microcuenca se certifica o no (Cuadro 3). Una microcuenca obtendría la certificación si alcanza 75% o más en la calificación global.

Si se quisiera determinar el nivel de avance de indicadores particulares en la microcuenca se promedian las calificaciones reportadas para el indicador de interés y se agrupan según los criterios siguientes:

- Indicadores con calificación >3: Alto
- Indicadores con calificación 2 – 3: Regular
- Indicadores con calificación <2: Bajo

**Cuadro 3.**

Interpretación de la calificación global de una microcuenca

Calificación global (%)	Nivel de manejo integrado de cuencas	Descripción
0,0 - 24,9	Muy bajo	La microcuenca no tiene casi ninguna acción con el enfoque de MICH
25,0 - 49,9	Bajo	La microcuenca tiene pocas o muy pocas acciones con el enfoque de MICH
50,0 - 74,9	Regular	La microcuenca presenta acciones con enfoque de MICH, sin embargo aun es necesario enfocarse en aspectos importantes que mejoren las condiciones de las mismas.
75,0 - 100	Superior	La microcuenca cuenta con muchas acciones efectivas con el enfoque de MICH y existen condiciones que promueven el enfoque.



Foto: Inty Arcos.

La certificación de cuencas podría formar parte de la normativa del manejo de recursos naturales o como requisito para la recepción de apoyo gubernamental a municipalidades o comunidades



Este análisis permite entender en cuáles temas hay mayor o menor avance en el manejo de la cuenca, y así priorizar acciones.

### Discusión

Algunas consideraciones importantes que se deberían tomar en cuenta para que una microcuenca inicie un proceso de certificación, a partir de la metodología propuesta, son: conocer los límites físicos de la microcuenca, contar con un grupo de actores interesados en la certificación de procesos de manejo y gestión de la microcuenca y, de ser posible, hacer una caracterización completa de la misma.

Tras 60 años de trabajo en enseñanza a nivel maestría, capacitación, cooperación técnica, investigación e implementación de proyectos y programas, el CATIE ha acumulado una amplia experiencia en gestión integral de cuencas hidrográficas en América Tropical. El aprendizaje obtenido, en colaboración con diferentes actores, ha permitido proponer y aplicar un conjunto de enfoques, estrategias y mecanismos que constituyen la base para liderar y facilitar el desarrollo de la Escuela de Pensamiento en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas (Jiménez 2004a). Como paso fundamental para la definición de los principios que rigen el esquema de certificación en este trabajo se toman en cuenta los elementos y enfoques que rigen el quehacer de esta Escuela.

Como unidad de manejo y gestión de los recursos naturales, la cuenca se fundamenta en al menos seis principios o enfoques: la cuenca como un sistema, el enfoque socioambiental y de gestión, la cuenca como unidad de planificación y de evaluación del impacto, el agua como recurso integrador de la cuenca, la reducción de vulnerabilidad y riesgo a desastres naturales y las unidades de producción y organización como unidades de intervención. Estos principios o enfoques

determinaron la elaboración de los criterios e indicadores propuestos y su categorización aplicada a la microcuenca.

En esta propuesta, la microcuenca objeto de evaluación por medio de estos criterios e indicadores se definió como “la unidad hidroteritorial delimitada por la división de aguas”. Sin embargo, es de hacer notar que estos criterios e indicadores han sido pensados para la certificación de microcuencas de tipo rural.

Aun no es claro si la certificación de cuencas puede garantizar un valor de mercado; de hecho, este no debiera ser la meta de la certificación. El estándar para la certificación, en cierta manera, pretende avanzar hacia la consolidación de “actitudes” en los actores involucrados en la microcuenca. Existe también la posibilidad de que la certificación de cuencas forme parte de la normativa en materia de manejo de recursos naturales en zonas rurales o en áreas protegidas, o como requisito para la recepción de cierto tipo de apoyos gubernamentales a municipios o comunidades.

Si se reconociera a los grupos comunales o municipales sus esfuerzos en el buen manejo de una microcuenca y en la búsqueda de certificación del mismo, posiblemente otras organizaciones se sentirían motivadas y tratarían de emular esos esfuerzos. El uso de un estándar como el propuesto pudiera convertirse en una norma, requisito o elemento preferencial, a la hora de otorgar incentivos por parte de los gobiernos u otras instituciones de financiamiento.

Los beneficios reales y desventajas de los procesos de certificación han sido discutidos ampliamente por varios autores (Cashore et ál. 2002, Karki y Rawat 2004, Kooten et ál. 2004, Rametsteiner y Simula 2002, Sequeira y Louman 2004, Van Dam 2002). Esta herramienta en manos de instituciones, organizaciones o personas involucradas en el manejo de cuencas pudiera ayudar a priorizar acciones, definir nuevas estrategias y corregir deficiencias en el logro del enfoque integral.

Aun no es claro si la certificación de cuencas puede garantizar un valor de mercado; de hecho, este no debiera ser la meta de la certificación. Esta metodología, y en especial los elementos de decisión, están destinados casi en su totalidad al conocimiento, identificación y evaluación de los procesos, pero no de los impactos. El enfoque de manejo integrado de cuencas reconoce que los impactos percibidos de estos procesos son a largo plazo, y que intentar la evaluación de impactos sólo mostraría un avance parcial o erróneo. El estándar para la certificación, en cierta manera, pretende avanzar hacia la consolidación de “actitudes” en los actores involucrados en la microcuenca. Existe también la posibilidad de que la certificación de cuencas forme parte de la normativa en materia de manejo de recursos naturales en zonas rurales o en áreas protegidas, o como requisito para la recepción de cierto tipo de apoyos gubernamentales a municipios o comunidades.

### Conclusiones y recomendaciones


La metodología de certificación propuesta es simple y cumple con los propósitos de facilidad y rapidez de aplicación, sencillez en la interpretación de los datos y en la aplicación de los criterios e indicadores. Esto permite conocer las condiciones de la microcuenca en pocos días y familiarizarse con las condiciones de

la misma. Sin embargo, es necesario seguir ajustando y mejorando la metodología con las experiencias que surjan de su análisis y aplicación.

La evaluación de los indicadores mediante consultas a informantes claves abre espacios de diálogo que permiten recopilar mucha más información de la planteada en el proceso mismo de certificación. Esta información puede resultar muy útil en la construcción de una línea base o en la caracterización de la microcuenca. De la misma manera, el proceso de certificación ayuda a identificar algunos puntos débiles del manejo y a encontrar opciones concretas para su fortalecimiento. En algunos casos, la certificación ha sido vista como una forma de definir normas para diferentes actividades. En Guatemala, por ejemplo, se ha incorporado exitosamente la certificación forestal como una norma para el otorgamiento de concesiones forestales por parte del Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

Las leyes y el marco legal deben ser considerados como los requisitos mínimos que se deben cumplir en cualquier proceso de manejo y aprovechamiento de los recursos. La certificación debe ir más allá de los mínimos establecidos, ofrecer un beneficio adicional, una característica sobresaliente. En este caso, la certificación de cuencas tiende a resaltar dos puntos principales: las acciones y las condiciones de organización resumidas en procesos claros de manejo. La certificación toma en cuenta no solo las condiciones biofísicas de la microcuenca, sino también a las personas y su nivel de conocimiento sobre el enfoque y la aplicación en sus actividades de planeación.

Es importante realizar estudios comparativos en cuanto a la certificación en diferentes microcuencas. Los criterios e indicadores resultantes de este documento fueron planeados, específicamente, para microcuencas rurales en América Tropical. Hay que ser concientes de las grandes diferen-

cias que existen en las condiciones climáticas y sociales entre los diferentes países y zonas que comprenden las regiones tropicales de América. 

### Agradecimientos

Se agradece a las siguientes personas por sus aportes como expertos en el área de manejo integrado de cuencas: Dr. Juan de Dios Benavides, Dr. Manuel Anaya, Dr. Mario Martínez Ménes, Dr. Miguel Musálem, Dr. Germán Flores, Dr. David Moreno, M. C. Rosa Arellano, M. C. Jorge Martínez, Dr. René Valdez. A las siguientes instituciones y programas: al CATIE y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), por la guía y financiamiento de este trabajo. Al Programa Forestal del Colegio de Posgraduados, Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Posgraduados, Programa Focuecas, INIFAP, Proyecto MESMIS, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad de Guadalajara, por su apoyo como instituciones claves que otorgaron las facilidades y espacios necesarios para las entrevistas con expertos e intercambio de información.

### Literatura citada

- Bass, S. 2004. Certification. *Sustainable Forest Management*. 2004:1350-1357. Consultado 15-10-2004. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/>
- Cashore, B; Auld, G; Newsom, D. 2002. Forest certification (eco-labeling) programs and their policymaking authority: explaining divergence among North American and European case studies. *Forest Policy and Economics* 5:225-247. Consultado 10-11-2004. [www.elsevier.com/locate/forpol/](http://www.elsevier.com/locate/forpol/)
- Campos, JJ; Louman, B; Locatelli, B; Garay, M; Yalle, S; Villalobos, R; López, G; Carrera, F. 2004. Retribuciones a la conservación: un estímulo para el manejo sostenible en bosques naturales. sp. (*Recursos, Ciencia y Decisión* no. 1).
- Cifuentes, M; Izurieta, A; de Faria, H. 2000. Medición de la efectividad del manejo de áreas protegidas. Turrialba, CR, WWF/UICN/GTZ. 105 p. (Serie Técnica WWF no. 2).
- Geilfus, F. 1997. 80 Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. San José, CR, IICA/GTZ. 208 p.
- Jiménez, F. 2004a. La cuenca hidrográfica como unidad de planificación, manejo y gestión de los recursos naturales. *Apuntes del Curso Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas I*. Turrialba, CR, CATIE. 35 p.
- Jiménez, F. 2002b. Metodología rápida para estimar el manejo de una microcuenca. *Revista Rescatemos el Virilla (CR)* no. 19:32-33.
- Karki, M; Rawat, RWS. 2004. Definitions, good practices and certification. *Sustainable Forest Management* 2004:1357-1367. Consultado el 15-10-2004. <http://www.sciencedirect.com/>
- Kooten, CG; Nelson, WH; Vertinski, I. 2004. Certification of sustainable forest management practices: a global perspective on why countries certify. *Forest Policy and Economics*. Consultado 17-10-2004. <http://www.sciencedirect.com/>
- Musálem, CK. 2005. Propuesta metodológica para la certificación del manejo integrado de cuencas en América Tropical. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 87 p.
- Pokorny, B; Sabogal, C; Silva, JN, Lima, J; Bernardo, P. 2004. Criterios e indicadores para el monitoreo de operaciones forestales: un caso en Brasil. *Recursos Naturales y Ambiente* no. 42:19-28.
- Rametsteiner, E; Simula, M. 2002. Forest certification: an instrument to promote sustainable forest management. *Journal of Environmental Management* no. 67:87-98. Consultado 10-10-2004. <http://www.sciencedirect.com>
- Sequeira, V; Louman, B. 2004. Retos y oportunidades: para una mejor aplicación de los estándares de certificación del manejo forestal en América Latina. *Recursos Naturales y Ambiente* 42:60-68.
- Tepelus, CM; Castro, R. 2003. Recognition schemes in tourism. *Journal of Cleaner Production* 13:135-140.
- Van Dam, C. 2002. La economía de la certificación forestal: ¿Desarrollo sostenible para quién? Ponencia presentada al Congreso Iberoamericano de Desarrollo y Medio Ambiente "Desafíos locales ante la globalización", Quito, Ecuador, 8-9 de noviembre del 2002. Disco compacto. 24 p.

# Certificación del manejo integrado de microcuencas hidrográficas en América Tropical<sup>1</sup>

Parte 2. Estudio de caso en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras

**Karim Musálem**

*Estudiante de Doctorado  
Programa Conjunto  
Universidad de Gales - CATIE  
CATIE. karim@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez**

*CATIE. fjimenez@catie.ac.cr*

**Jorge Faustino**

*CATIE. faustino@catie.ac.cr*

**Yamileth Astorga**

*Universidad de Costa Rica  
yastorga@racsa.co.cr*

El proceso metodológico aplicado en esta microcuenca permitió lograr los objetivos propuestos en un tiempo bastante corto. La discusión y plática con los informantes fue fructífera en términos de conocimiento de la microcuenca. En general existe una tendencia favorable al manejo integrado de la microcuenca que justifica la certificación; sin embargo, todavía falta trabajo en ese sentido.

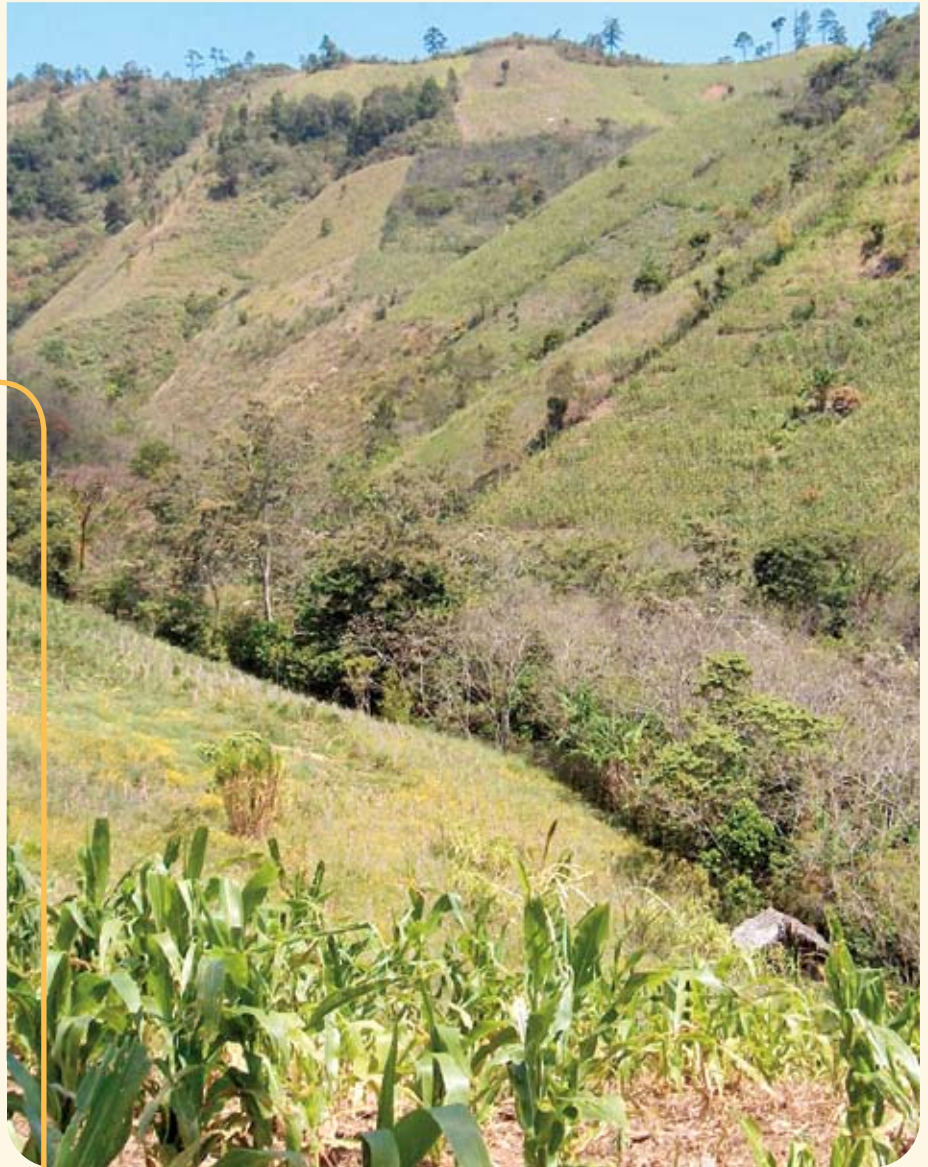


Foto: Inty Arcos.

<sup>1</sup> Basado en Musálem Castillejos, K. 2005. Propuesta metodológica para la certificación del manejo de cuencas hidrográficas en América Tropical. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 87 p.



## Resumen

Se analiza un estudio de caso sobre la aplicación de un estándar propuesto para la certificación del manejo integrado de cuencas hidrográficas en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. El sitio fue seleccionado por funcionar como cuenca laboratorio del Programa "Innovación, Aprendizaje y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas" (Focuencias II) desde octubre del 2004. La metodología propuesta permitió conocer en poco tiempo el nivel de manejo de esta microcuenca rural, y determinar los indicadores que muestran mayor o menor avance. El estudio sirvió además para enriquecer la propuesta metodológica inicial de certificación. En el caso específico de la microcuenca del río Sesesmiles se obtuvo una muy alta aceptación (entre 70 y 100%) de la relevancia del conjunto de criterios e indicadores propuestos. El manejo de la cuenca mostró un nivel medio-alto en cuanto a los procesos típicos del buen manejo de cuencas, pero no alcanzó la calificación global requerida (más de 75%) para la certificación de buen manejo.

**Palabras claves:** Cuencas hidrográficas; microcuenas; ordenación de cuencas; sostenibilidad; certificación; Honduras.

## Summary

**Certification of integrated watershed management in Tropical America. Part 2: A case study in Sesesmiles river micro-watershed, Copan, Honduras.** A case study on the application of a standard to pursue certification of integrated watershed management was carried out in the Sesesmiles river micro-watershed, Copán, Honduras. The watershed was selected among others because it is a laboratory watershed for the Program "Innovation, Learning and Communication for Adaptive Congestion in Watersheds" (Focuencias II), since October 2004. The proposed methodology allowed recognition of the level of management in this rural micro-watershed in a short period of time; also, it determined indicators with higher and lower levels of advance. The study helped enriching the methodology originally proposed. In the specific case of the Sesesmiles river micro-watershed, a very high acceptance (from 70 to 100%) in the relevance of criteria and indicators was obtained. Watershed management in the micro-watershed was determined as medium-high level regarding processes related to good management; however, it did not get the global qualification required to obtain the certification of good management (above 75%).

**Keywords:** Watersheds; microwatersheds; watersheds management; sustainability; certification; Honduras .

## Introducción

La certificación del manejo de las cuencas hidrográficas se considera una estrategia de tipo político e institucional con efectos en los otros subsistemas que permite respaldar las actividades de manejo según el potencial de la cuenca. Para poder lograr recoger experiencias prácticas que permitan evaluar el manejo de cuencas y consecuentemente lograr la certificación, es necesario probar metodologías y los criterios e indi-

cadoreos propuestos. En el presente estudio se presenta la aplicación de una propuesta metodológica de certificación de cuencas mediante un estudio de caso llevado a cabo en la microcuenca del río Sesesmiles en Copán, Honduras.

La microcuenca del río Sesesmiles forma parte de la Mancomunidad de Municipios de Santa Rita de Copán (MANCORSARIC). Uno de los principales objetivos de esta organización es la conservación de los recursos naturales de la subcuenca. Según

Faustino (2005), MANCORSARIC ha logrado avances como los siguientes: el trabajo conjunto e integrado a partir de una visión compartida de todos los actores que viven o se vinculan con la subcuenca; el gobierno local como facilitador, coordinador y ente directriz en las gestiones y acciones para el manejo de la subcuenca; el manejo de la subcuenca como un proceso participativo y de largo plazo; las unidades técnicas municipales y unidades municipales ambientales como ejes determinan-

tes en la coordinación y apoyo directo a las actividades que impulsan los cooperantes.

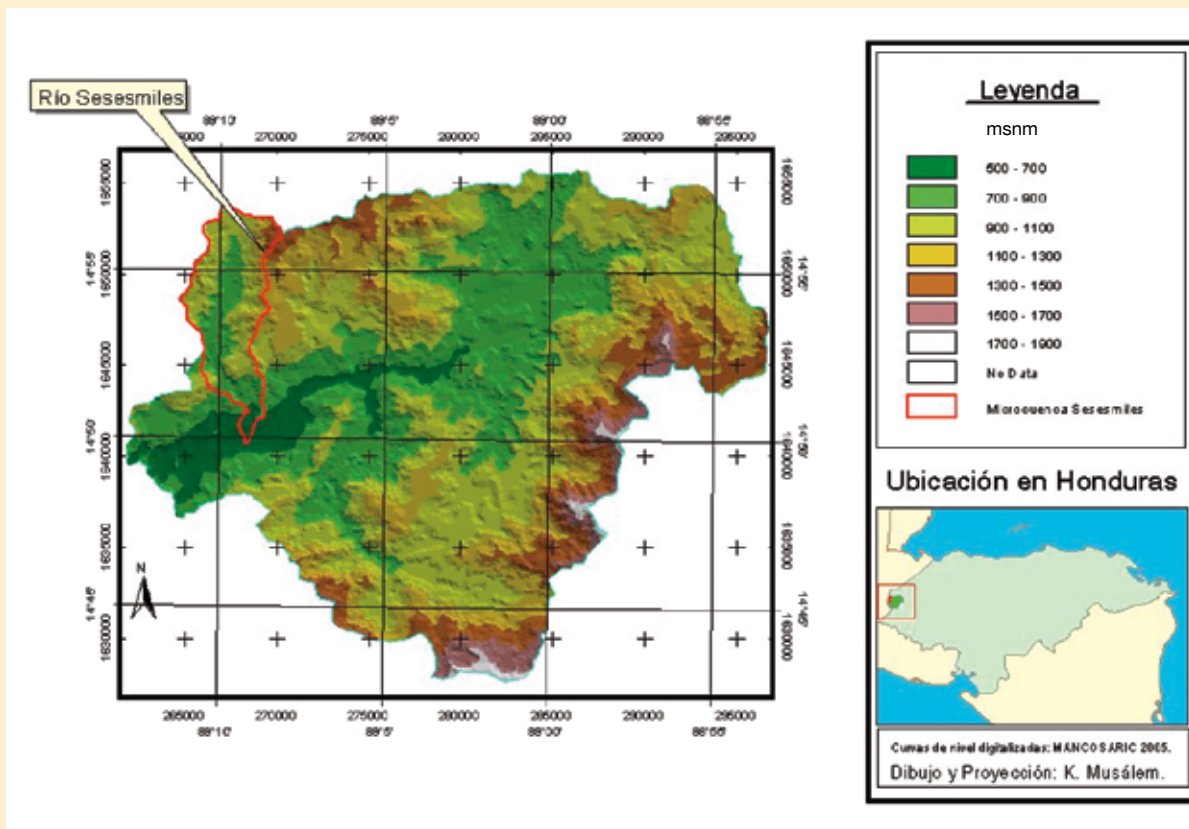
Del 2000 al 2003, MANCORSARIC recibió el apoyo del Proyecto “Fortalecimiento de la Capacidad Local para el Manejo de Cuencas y la Prevención de Desastres Naturales” (Focuecas I), financiado por la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI) y ejecutado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). El modelo de trabajo impulsado por Focuecas I consistió principalmente en el fortalecimiento de la capacidad de gestión, la capacitación, la promoción de esfuerzos significativos y la implementación de acciones de manejo de cuencas (Faustino 2005). La experiencia generada y conocimiento de la zona fueron las razones principales para escoger una de las microcuencas más

representativas de la problemática y condiciones locales, para la evaluación en el campo del estándar propuesto para la certificación del buen manejo en cuencas hidrográficas.

La microcuenca del río Sesesmiles mide 37 km<sup>2</sup>; se localiza en la zona occidental de Honduras, en el Departamento de Copán, entre las coordenadas 14°43' y 14°58' Norte y 88°53' y 89°14' Oeste. Forma parte de la subcuenca del río Copán, cuenca del río Motagua, la cual sirve de línea fronteriza entre Honduras y Guatemala (Fig. 1).

La precipitación promedio anual es de 1609 mm, con un rango de 1425 a 1760 mm. El mes más lluvioso es septiembre (promedio de 228 mm) y el menos lluvioso es marzo (promedio de 11 mm). El periodo seco dura cinco meses (de diciembre a abril). La topografía de la microcuenca es

bastante quebrada, con fuertes pendientes y pocas zonas planas cerca de los cauces de los ríos. La altitud varía de 600 a 1600 m. La temperatura mínima y máxima es de 16 y 26°C, respectivamente (MANCORSARIC 2003). Los bosques de la microcuenca pertenecen a la zona de vida del bosque tropical seco; son bosques latifoliados a semidecíduos, con características de bosques nublados a húmedos en las zonas más altas (Holdridge 1967 citado por Arcos 2005). Los usos del suelo predominantes son cafetales, pasturas y cultivos anuales. En general, en la parte media y alta de la microcuenca, hay bosques ribereños secundarios, sin especies maderables y con un alto nivel de perturbación por la ganadería que utiliza las quebradas como abrevaderos y la agricultura tradicional de tumba y quema (Arcos 2005).



**Figura 1.** Ubicación de la microcuenca del río Sesesmiles en las subcuenca del río Copán, Honduras (Musálem 2005).

## Metodología

El estudio de caso tuvo como objetivo principal aplicar el estándar propuesto de criterios e indicadores y la asignación de valores de importancia a cada uno de los criterios e indicadores. Para ello, se contó con la colaboración de un grupo de personas que están al tanto de los avances en materia de manejo de cuencas en la microcuenca del río Sesesmiles en Copán, Honduras. El detalle de la propuesta metodológica para la certificación de cuencas aplicada en este estudio de caso se describe en la Parte 1 de este trabajo, en este mismo número de la RRNA (Pág. 10). La Fig. 2 muestra el proceso metodológico seguido para la evaluación aplicada en este estudio de caso.

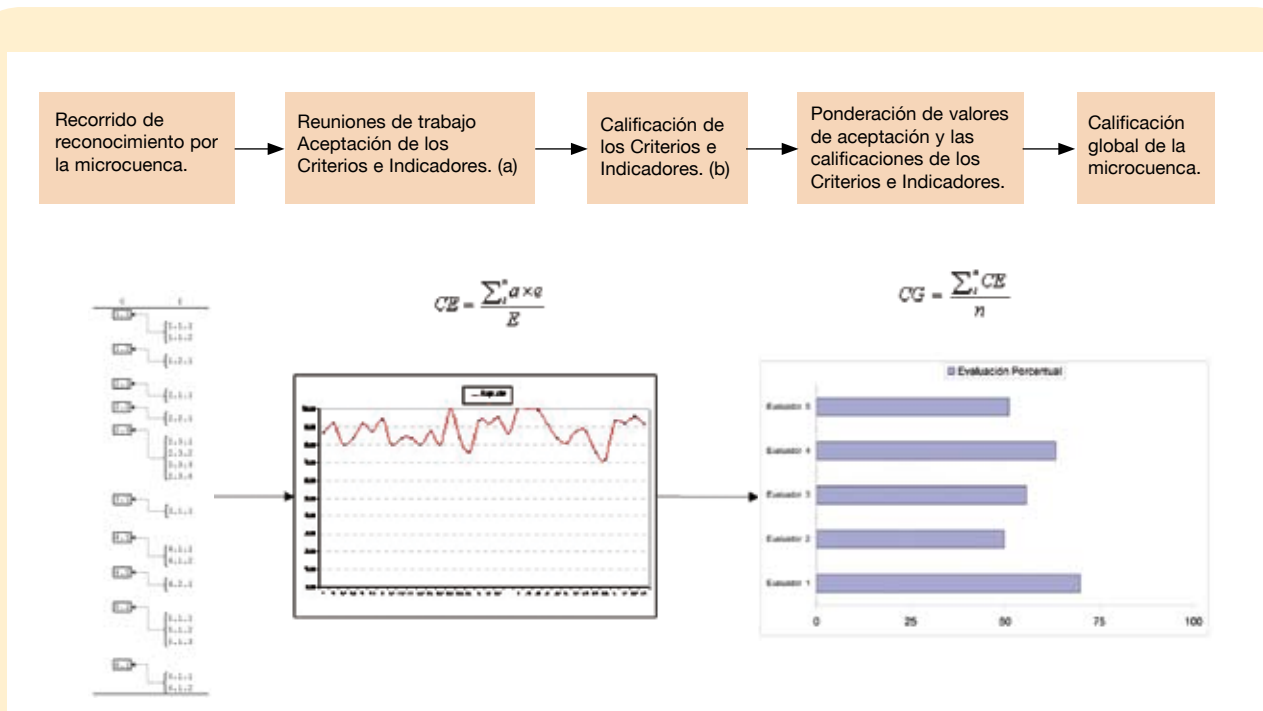
Para la validación y valoración de los C&I se empleó la metodología de 'evaluación multicriterio' desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas y Pecuarias de México (Flores et ál. 2003, Narváez et ál. 2004). Esta metodología se rela-

ciona con otras desarrolladas por el CIFOR (Mendoza et ál. 1999). Estos esquemas buscan resolver situaciones donde surgen distintos puntos de vista y opiniones sobre un grupo de C&I de manejo forestal sostenible. Para la interpretación y asignación de relevancia a cada uno de los elementos de decisión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas se hizo uso de esta metodología modificada.

La calificación de los C&I estuvo en manos de conocedores del área, técnicos del Programa Focuenas II, representantes de la municipalidad e investigadores. A cada criterio e indicador, cada evaluador asignó un valor de relevancia para el manejo de cuencas y una asignación que califica las condiciones actuales de manejo de la microcuenca. Se realizaron cinco reuniones de trabajo, en las cuales participaron: un técnico del Programa Focuenas II, un representante de la municipalidad de Copán, un representante de la MANCORSARIC, dos investigado-

res residentes del CATIE que realizaban trabajos de investigación al nivel maestría en la microcuenca del río Sesesmiles y un consultor local para el Proyecto de Desarrollo Local Norte de Copán.

En cada una de estas reuniones de trabajo se leyeron y discutieron los criterios e indicadores propuestos. Luego de conocer la herramienta, se solicitó a los evaluadores juzgar la relevancia de los C&I propuestos para alcanzar el buen manejo integrado de cuencas hidrográficas, con base en la perspectiva de los recursos naturales. Una vez otorgado el valor de relevancia a cada indicador, los evaluadores procedieron a calificar, según su conocimiento, las condiciones de la microcuenca del río Sesesmiles. Finalmente, se obtuvo un valor porcentual que representa la calificación global de la microcuenca (Cuadro 3 en Parte 1, pág. 19). La metodología, criterios e indicadores, parámetros y valores de calificación se explican con detalle en la Parte 1.



**Figura 2.** Proceso utilizado para la aplicación de la propuesta metodológica de certificación de cuencas, en el caso de la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras

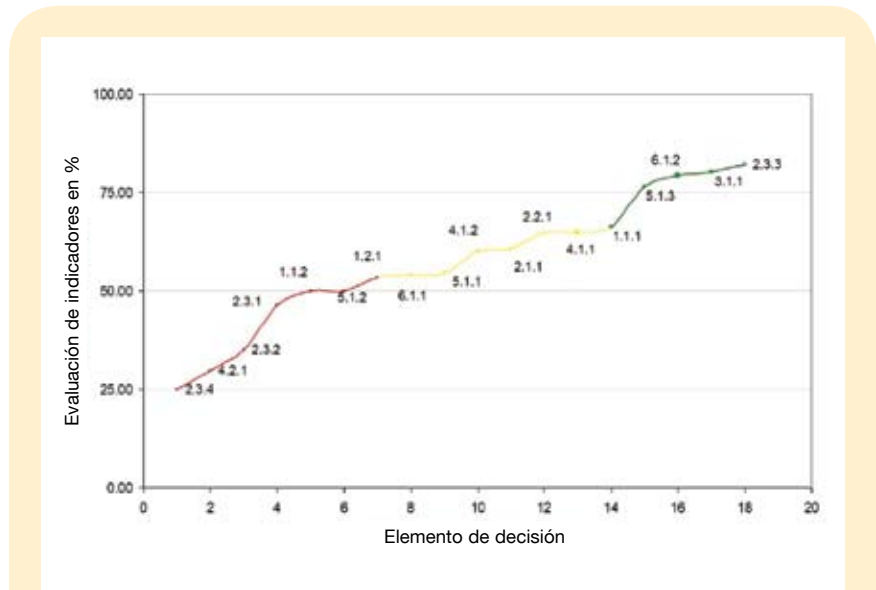


## Resultados y discusión

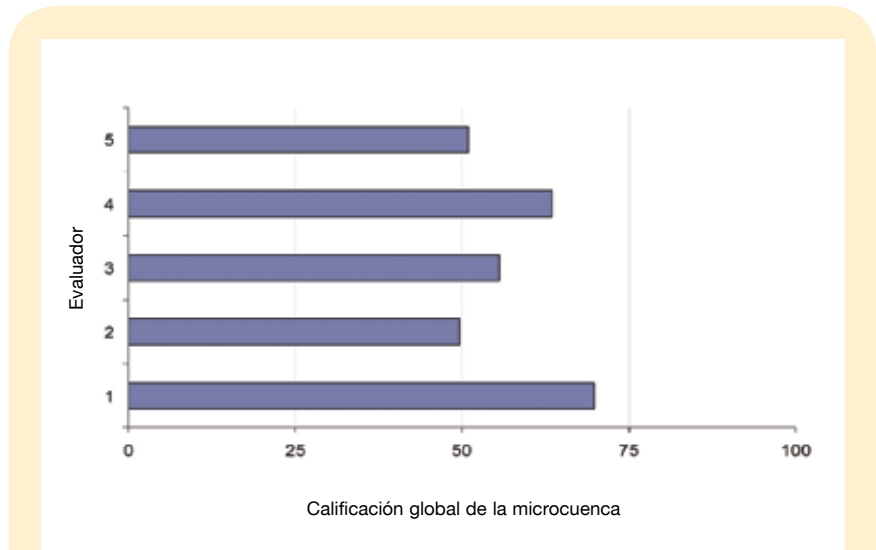
Los evaluadores consideraron que la mayoría de los criterios e indicadores propuestos eran relevantes (70-100%) para la microcuenca del río Sesesmiles. Además de la calificación general de la microcuenca, para cada uno de los indicadores se obtuvo una calificación resumen de las opiniones de los colaboradores (Fig. 3). Si interpretamos las calificaciones otorgadas a cada indicador, se puede resumir la condición de la cuenca. La calificación otorgada por cada indicador fue reclasificada en tres niveles e interpretada para generar un resumen de las condiciones que requieren más atención (Cuadro 1).

Con base en las calificaciones para toda la microcuenca y los valores de relevancia otorgados por cada evaluador se obtuvieron las calificaciones por evaluador (CE). Las CE otorgadas por todos los evaluadores se agrupan en el tercer cuartil superior de valoración, partiendo del máximo posible que representa el 100% (Fig. 4). Los valores obtenidos muestran que la herramienta de evaluación varía entre evaluadores, dependiendo de su criterio y conocimiento de la microcuenca. Los valores se encuentran entre 50 y 70% y el promedio de las calificaciones o calificación global (CG%) es de 58%; esto indica un nivel medio-alto, con procesos claros de avance, pero no alcanza el nivel propuesto (más de 75%) para la certificación del manejo integral en la microcuenca del río Sesesmiles.

En resumen, la calificación de 58% obtenida por la microcuenca indica que si bien hay acciones con enfoque de MICH, aun es necesario prestar atención a algunos aspectos importantes que mejoren las condiciones de la misma. Cuatro indicadores fueron calificados como altos, cuatro calificados como bajos y diez intermedios, con respecto a su nivel de avance hacia el manejo integrado (Cuadro 1). Las diferencias de opinión entre los colaboradores varían en 20 puntos



**Figura 3.** Valores de calificación obtenidos por indicador durante el proceso de certificación de la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras



**Figura 4.** Calificaciones otorgadas por cada evaluador durante el proceso de aplicación de la metodología para la certificación de cuencas aplicada a la microcuenca de río Sesesmiles en Copán, Honduras

porcentuales, lo que indica una opinión regularmente homogénea con respecto a la condición de la cuenca.

Los beneficios de un esquema de certificación como el aplicado pueden ser diversos, pero poco concretos. Entre ellos están, en primer lugar, el reconocimiento al gobierno municipal o a grupos de trabajo en

la microcuenca. A nivel de comunidad, este podría ser un incentivo para otras organizaciones interesadas en el manejo sostenible de los recursos de sus microcuencas. Otro posible beneficio podría ser la adopción de este tipo de herramientas como norma, requisito o elemento preferencial para otorgar incenti-

### Cuadro 1.

#### Interpretación de los indicadores evaluados en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán

Calificación alta	
5.1.3.	Reconocimiento de la relación entre el manejo de los recursos naturales y la prevención de desastres.
6.1.2	Tendencia a la adopción de la producción orgánica, sistemas agroforestales y ecoempresas
3.1.1	Planeación de actividades de intervención en la microcuenca, en los principales programas y ámbitos productivos.
2.3.3	Consideración del manejo integrado de cuencas en los centros de salud; el sector salud se involucra en las campañas ambientales.
Calificación media	
1.1.2	Convergencia, capacidad de asociarse e integrar esfuerzos; son evidentes algunas alianzas entre instituciones y la coordinación municipal.
5.1.2	Prevención de desastres, recursos y esfuerzos limitados en reducción de vulnerabilidad y conformación de comités de emergencia.
1.2.1	Protección de las zonas de conservación en la parte alta de la cuenca; áreas de conservación insuficientes en estado no óptimo.
6.1.1	Las actividades productivas de la parte media incorporan el uso de algunas pocas tecnologías amigables, la mayoría aun son prácticas convencionales. El uso de tecnologías limpias es reducido.
5.1.1	Las orillas de los ríos conservan algunas zonas de amortiguamiento o bosques de galería fragmentados; su estado de conservación no es óptimo.
4.1.2	Desechos contaminantes dispersos en los cauces de los ríos, principalmente cerca de las zonas urbanas.
2.1.1	Capitalización y mecanismos de captación de recursos y su administración y ejecución. Existe una mesa de cooperantes bien definidos, sin embargo los aportes son irregulares.
2.2.1	Existe una mesa de cogestión, pero no todos los proyectos aprovechan las capacidades de las instituciones.
4.1.1	El acarreo de sedimentos o presencia de contaminantes en el agua es perceptible. No existen estudios de calidad de agua.
1.1.1	Las organizaciones tienen un enfoque holístico e integral medianamente alto. Se reconoce interinstitucionalmente el trabajo realizado por otras organizaciones
Calificación baja	
2.3.4	Consideración del manejo integrado de cuencas, requiere de atención.
4.2.1	Inadecuada cantidad de agua a lo largo del año.
2.3.2	Escasa participación de la educación ambiental en los programas curriculares.
2.3.1	Poca consideración del manejo integrado de cuencas en los programas de infraestructura.

vos por parte de gobiernos u otras instituciones de financiamiento. Durante las reuniones de trabajo en la microcuenca, los colaboradores, al revisar el conjunto de criterios e indicadores empezaban a entender más claramente dónde era necesario priorizar acciones. Este podría ser

otro beneficio del esquema de certificación hidrográfica, ya que definir los niveles por separado ayuda a construir un panorama general, recordar esfuerzos previos y buscar alternativas o comentar sobre actividades que están por realizarse en la zona.

### Conclusiones

El proceso metodológico aplicado en esta microcuenca permitió lograr los objetivos propuestos en un tiempo bastante corto. La discusión y plática con los informantes fue fructífera en términos de conocimiento de la microcuenca. En general existe una tendencia favorable al manejo integrado de la microcuenca que justifica la certificación; sin embargo, todavía falta trabajo en ese sentido. Algunos elementos relevantes se indican a continuación.

- En la microcuenca se reconoce la relación entre el manejo de los recursos naturales y la prevención de desastres. Hay una alta tendencia a la adopción de la producción orgánica y de algunos sistemas agroforestales (café bajo sombra). El nivel de planeación de las actividades de intervención en la microcuenca es alto. Estos puntos hablan a favor de las bases y del pensamiento local de acción; es decir, de la ideología local respecto del manejo sostenible de los recursos. Se reconoce a la cuenca como la unidad de planificación para la gestión territorial; esto se ve reflejado en algunas prácticas adoptadas en unidades de producción. Los pobladores tienen claro que el manejo de cuencas busca reducir la vulnerabilidad.
- Localmente, los actores todavía no se perciben como el objetivo central de la gestión de cuencas. A pesar de que existe una alta consideración del manejo integrado de cuencas en los centros de salud y que el sector salud participa activamente en las campañas ambientales, hay puntos débiles que indican que aun se requiere de más atención, como por ejemplo, la educación ambiental en los programas curriculares. Los programas de infraestructura que consideran el manejo integrado de cuencas aun son pocos. Un problema en la zona es la inadecuada cantidad de agua; por ello el enfo-



Foto: Inty Arcos.

La calificación global de la microcuenca indica que hay procesos claros de avance, pero no alcanza el nivel propuesto para la calificación del manejo integral

que sociambiental y de cogestión debiera ser atendido para avanzar hacia un manejo integrado.

■ Hay muchos puntos que se encuentran aun en un término medio de avance. Sin embargo, algunos, como la calidad del agua, el acarreo de sedimentos y la presencia de desechos en los cauces únicamente se evalúan en términos temporales; es decir, comparándolos con condiciones anteriores. Por ejemplo, puede ser que la calidad del agua haya mejorado en los últimos años; sin embargo,

es indiscutible que el agua en las comunidades de la microcuenca no es ni medianamente aceptable para el consumo humano. Ya se han iniciado otras actividades, como la conservación de la parte alta de la microcuenca; sin embargo, los problemas no han sido resueltos por completo. Algunas situaciones en esta microcuenca, tales como el poco tiempo de ejecución de prácticas de manejo de cuencas y la ausencia de un plan de manejo específico (solo hay un plan estratégico) influyen cla-

ramente en el poco avance alcanzado hasta ahora. Por otro lado, sí hay diagnósticos bien detallados de los cuales se derivan las acciones prioritarias con enfoques colectivos e integrales para conservar los recursos naturales, y que mediatizan la ausencia del plan de manejo. 🌿

### Agradecimientos

Se agradece a las siguientes personas por su valioso apoyo en la elaboración del estándar y su revisión: al Dr. Juan de Dios Benavides, Dr. Manuel Anaya, Dr. Mario Martínez Ménes, Dr. Miguel Musálem, Dr. Germán Flores, Dr. David Moreno, M.C. Rosa Arellano, M.C. Jorge Martínez. Dr. René Valdez. Por su cooperación en la aplicación del estándar y su revisión: al M.Sc. Inty Arcos, M.Sc. Nina Duarte, M.Sc. Josué León, Sr. Leonidas Alemán. A las siguientes instituciones y programas: al CATIE, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, por la guía y financiamiento de este trabajo. al Programa Forestal del Colegio de Posgraduados, al Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Posgraduados, al Programa Focuencias II, al INIFAP, a la Universidad Autónoma Chapingo y a la Universidad de Guadalajara. Instituciones clave que otorgaron las facilidades y espacios necesarios para las entrevistas con expertos e intercambio de información.

### Literatura citada

- Arcos, TI. 2005. Caracterización de la riqueza y abundancia de aves en diferentes anchos de franjas de bosques riparios en la microcuenca del río Sesesmiles, departamento de Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 104 p.
- Faustino, J. 2005. Municipios centroamericanos a la vanguardia de la gestión ambiental. Turrialba, CR, CATIE. sp. (Recursos, Ciencia y Decisión no 3).
- Flores, JG; Moreno, DA; Quiñones, A. 2003. Sistema de evaluación por análisis multicriterio (SEVAM). Jalisco, MX, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro/Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 24 p. (Publicación Especial no. 1).
- Mendoza, GA; Macoun, P; Prabhu, R; Sukadri, D; Purnomo H; Hartanto, H. 1999. Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators. Bogor, IN, CIFOR-EU-GTZ-USAID. 84 p. (The Criteria & Indicators Toolbox Series no. 9).
- MANCORSARIC (Mancomunidad de Municipios de Copán Ruinas, Santa Rita, Cabañas y San Jerónimo). 2003. Manejo de la subcuenca del río Copán para la protección del parque arqueológico de Copán Ruinas. (Perfil del proyecto). Santa Rita de Copán, HN, CATIE/MANCORSARIC. 33 p.
- Musálem, CK. 2005. Propuesta metodológica para la certificación del manejo integrado de cuencas en América Tropical. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 87 p.



# Efecto del ancho del bosque ribereño en la calidad del agua en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras.

Uso de comunidades de macroinvertebrados bentónicos<sup>1</sup> como organismos indicadores<sup>1</sup>

**Inty Arcos**

CATIE. [iarcos@catie.ac.cr](mailto:iarcos@catie.ac.cr)

**Francisco Jiménez**

CATIE. [fjimenez@catie.ac.cr](mailto:fjimenez@catie.ac.cr)

**Celia Harvey**

CATIE. [charvey@catie.ac.cr](mailto:charvey@catie.ac.cr)

**José Joaquín Campos**

CATIE. [jcampos@catie.ac.cr](mailto:jcampos@catie.ac.cr)

**Fernando Casanoves**

CATIE. [casanove@catie.ac.cr](mailto:casanove@catie.ac.cr)

**Josué Anibal León**

CATIE. [josueleonci@yahoo.es](mailto:josueleonci@yahoo.es)

La municipalidad de Copán Ruinas, junto con las organizaciones locales y las instituciones nacionales responsables, deben promover estrategias y acciones para conservar los pocos bosques ribereños que aun quedan en la microcuenca del río Sesesmiles y tratar de recuperar y restaurar los que han sido eliminados o degradados. Velar por el cumplimiento de la normativa vigente con respecto a la franja ribereña que debe ser mantenida a ambos márgenes del cauce de quebradas y ríos debe ser parte de esa gestión integral.

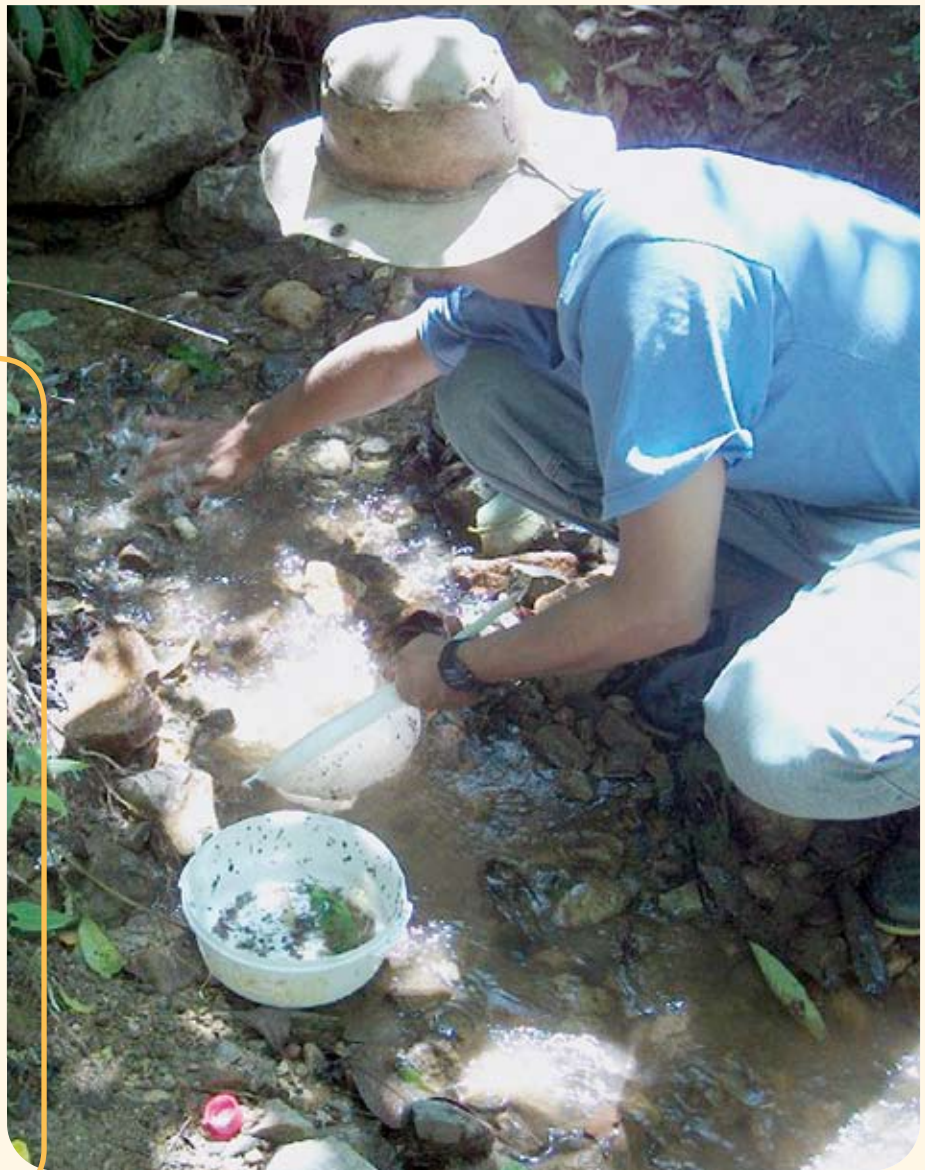


Foto: Inty Arcos.

<sup>1</sup> Basado en Arcos, TI. 2005. Efecto del ancho de banda de los ecosistemas ribereños en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 141 p.

## Resumen

El objetivo de este estudio fue caracterizar las poblaciones de macroinvertebrados bentónicos por medio del índice BMWP (Biological Monitoring Working Party Store System), para determinar la calidad del agua en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Con este fin, se analizó la relación entre la calidad del agua y el ancho de franja de bosque ribereño. Los resultados demuestran que se requieren anchos mayores de 50 m para una buena conservación de la calidad del agua. El índice BMWP determinó que la calidad del agua de la microcuenca del río Sesesmiles resultó, en general, de mala a regular, eutrófica y con contaminación moderada.

**Palabras claves:** Bosque de ribera; cuencas hidrográficas; microcuencas; calidad del agua; polución del agua; organismos indicadores; macroinvertebrados; Honduras.

## Summary

**Effect of riparian buffer strips on water quality in Sesesmiles river micro-watershed, Copan, Honduras; benthic macroinvertebrates as indicator organisms.** Benthic macroinvertebrate populations were characterized by means of BMWP (Biological Monitoring Working Party Store System), to determine water quality in Sesesmiles river micro-watershed, Copán, Honduras. With this purpose, the relationship between water quality and width of buffer strips was determined. Results demonstrated that buffer strips wider than 50 m are necessary to conserve water quality. According to BMWP, water in the micro-watershed ranged from bad to regular-quality, eutrophic and moderately polluted.

**Keywords:** Riparian forest; watersheds; microwatersheds; water quality; water pollution; indicator organisms; macroinvertebrates; Honduras.

## Introducción

La calidad de agua es un factor crucial para el ser humano y para todas las formas de vida que habitan en el planeta. Los ecosistemas ribereños albergan gran diversidad de hábitats que benefician a un alto número de especies de plantas y animales (Kauffman y Kruger 1984). Las franjas de bosques ribereños reducen la conexión entre la fuente de contaminación potencial y el cuerpo de agua receptor, y pueden servir como barrera física natural contra la entrada de contaminación directa a las fuentes y a los cursos de agua (Lowrance et ál. 2000, Gove et ál. 2001, Scalley y Aide 2003). Por ello, la investigación para la conservación y restauración de estos ecosistemas tiene una aplicación práctica inmediata en el manejo integrado de cuencas hidrográficas (Kunkle 1974, citado en Lima y Zakia 2000).

En la actualidad, no existe un criterio estandarizado para la definición del ancho de las franjas ribere-

ñas, el cual garantice una protección satisfactoria a los cursos de agua (Fischer et ál. 2000). Las leyes han establecido de manera arbitraria los anchos de franjas de bosques ribereños que se deben proteger; sin embargo, no se cuenta con suficientes estudios de base que sustenten las decisiones sobre el manejo de estos ecosistemas.

Los macroinvertebrados bentónicos son comunidades de insectos resistentes o vulnerables a la contaminación del agua (Chará 2003). Estos organismos están siendo utilizados cada vez con mayor frecuencia para analizar la calidad del agua, ya que integran efectos acumulados en el tiempo y no solamente información puntual, como ocurre con los análisis físico-químicos.

La microcuenca del río Sesesmiles en Copán, Honduras se caracteriza por ser una zona agrícola con cultivos de maíz, café y áreas de ganadería. Las franjas ribereñas que aun existen se localizan en la parte alta de la microcuenca. Generalmente

son espacios pequeños, aislados, de anchos diferentes y cada vez más amenazados por los impactos de la actividad antrópica. El objetivo del estudio fue caracterizar las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y analizar el efecto del ancho de franja de los bosques ribereños sobre la calidad del agua en los cauces de la microcuenca del río Sesesmiles, utilizando comunidades de macroinvertebrados bentónicos como organismos indicadores.

## Metodología

### El sitio de estudio

La microcuenca del río Sesesmiles mide 38 km<sup>2</sup> y se localiza en el occidente de Honduras, departamento de Copán, entre las coordenadas 14°43' y 14°58' Norte y 88°53' y 89°14' Oeste. Forma parte de la subcuenca del río Copán, cuenca del río Motagua, la cual sirve de línea fronteriza entre Honduras y Guatemala. La precipitación promedio anual es de 1609 mm, con un rango de 1425 a 1760 mm. El mes más lluvioso es septiembre (pro-

medio de 229 mm) y el menos lluvioso es marzo (promedio de 11 mm); el periodo seco dura cinco meses (diciembre a abril). La topografía de la microcuenca es bastante quebrada, con fuertes pendientes y pocas zonas planas en áreas cercanas a los cauces de los ríos. La altitud varía de 600 a 1600 msnm. Las temperaturas mínimas y máximas promedian 16 y 26°C, respectivamente (MANCORSARIC 2003). Los bosques de la microcuenca pertenecen a la zona de vida de bosque tropical seco; son bosques latifoliados a semidecíduos, con características de bosques nublados a húmedos en las zonas más altas (Holdridge 1967 citado por Arcos 2005). Los usos actuales del suelo predominantes en la microcuenca son cafetales 10%, pasturas 5% y cultivos anuales 11%. En general, los bosques ribereños se ubican en la parte media y alta de la microcuenca. Son bosques secundarios, sin especies maderables y con un alto nivel de perturbación por la ganadería que utiliza el agua de las quebradas como abrevaderos, aunque con frecuencia también se emplea para consumo humano.

**Selección de los sitios de estudio**  
Se recorrió el área de estudio con el propósito de localizar todos los parches de bosque ribereño ubicados en la parte media y alta de la microcuenca del río Sesesmiles. En el campo se localizó y georreferenció preliminarmente una muestra de 25 bosques ribereños, en donde se realizaría el muestreo de macroinvertebrados bentónicos. Se identificaron únicamente bosques ribereños rodeados por pastizales y cultivos de maíz, café o frijol, a fin de determinar el impacto de estas actividades agrícolas en la calidad del agua. Otro criterio de selección fue dado por el orden de bifurcación de los cauces dentro de la red de drenaje natural de la microcuenca. Se seleccionaron bosques ubicados en las márgenes de los cauces de orden uno (cauces que no tienen ningún

tributario) (Villón 2002). Como una herramienta para facilitar la ubicación de los cauces, se utilizó un plano de la microcuenca que incluía la red de drenaje natural.

#### Metodología de selección de unidades de muestreo

En cada uno de los 25 bosques que cumplían con los criterios de selección antes mencionados, se realizaron seis mediciones de anchos de franjas ribereñas, tomando como punto de referencia las desembocaduras de los cauces de orden uno en los cauces de orden dos, según la red de drenaje.

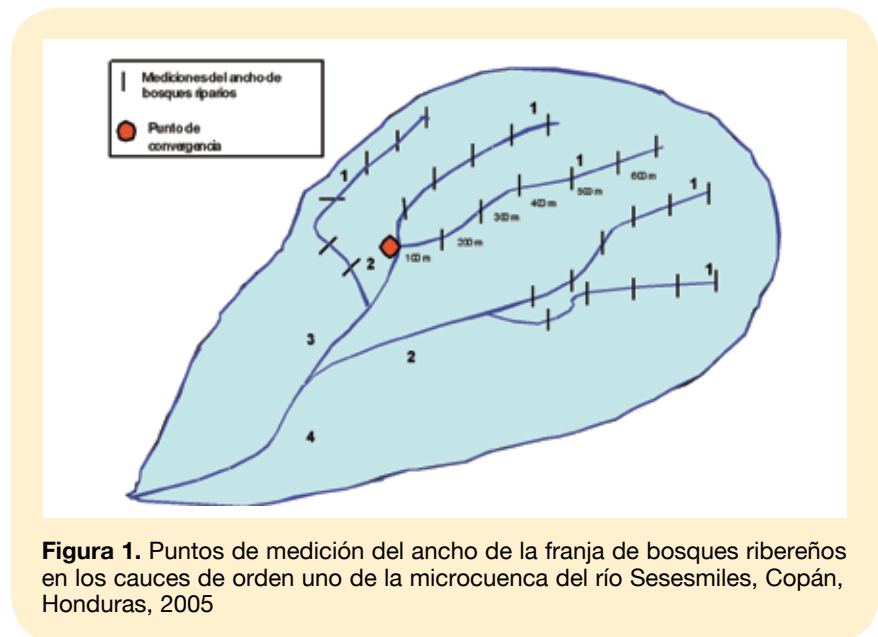
A partir del punto de convergencia de los cauces, se midieron 100 m a lo largo del cauce de orden uno, donde se estableció el primer punto de medición de ancho de franja; los siguientes puntos de medición se fijaron cada 100 m (Fig. 1).

Con los datos de anchos de franja en los 25 bosques medidos, se elaboró una tabla de frecuencias. A continuación se seleccionaron 15 bosques ribereños en los cuales se establecieron 30 puntos georreferenciados de colecta de invertebrados bentónicos. Los diferentes anchos de franja se agruparon en tres categorías (menos de 50 m,  $n = 36$ ;

entre 50-250 m,  $n = 18$  y más de 250 m de ancho,  $n = 6$ ), consideradas como tratamientos para el análisis de varianza. Se tomaron dos puntos por bosque separados de 500 metros. En total se colectaron 60 muestras, 30 en la época seca (marzo – abril 2005) y 30 en la época lluviosa (junio – julio 2005). Alrededor de las estaciones de muestreo de bentos se estableció un área circular de 25 m para medir las variables diámetro a la altura del pecho de las especies leñosas y pendiente de los bancos aluviales. En las estaciones de colecta se midieron algunas variables de calidad de agua: pH, turbidez, temperatura y oxígeno disuelto, para tener información adicional que ayudara en la comprensión y discusión de los resultados.

#### Metodología para el muestreo de calidad de agua mediante organismos bentónicos

Para la recolección de macroinvertebrados se muestrearon todos los hábitats disponibles en el tramo (sedimentos, troncos, hojas y vegetación acuática), en proporción a su representatividad (Chará 2003), por un periodo de 15 minutos. Se tomaron 20 arrastres con una red tipo D, especial para la colecta de macroinver-



**Figura 1.** Puntos de medición del ancho de la franja de bosques ribereños en los cauces de orden uno de la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras, 2005



tebrados bentónicos en cada una de las estaciones de muestreo. Todo el material recolectado en los arrastres se mezcló en una sola muestra compuesta y se depositó en un recipiente debidamente identificado con el número de la estación de muestreo, nombre de la quebrada y fecha. Los macroinvertebrados fueron preservados en alcohol al 95% y llevados al laboratorio para su identificación (los ejemplares se encuentran en el museo entomológico de la Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica). De la colección de macroinvertebrados bentónicos se obtuvieron datos sobre la riqueza y abundancia de las familias para el cálculo del índice de diversidad de Shannon-Wiener (McCune y Grace 2002).

Para el monitoreo de la calidad del agua en la microcuenca del río Sesesmiles se aplicó el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System), el cual evalúa la calidad del agua usando las familias de macroinvertebrados como bioindicadores. El análisis es cualitativo (presencia o ausencia) y consiste en asignar a cada familia un puntaje, que va de uno a diez de acuerdo a sus características como bioindicador. Las familias más sensibles -como Perlidae y Oligoneuriidae- reciben el puntaje más alto del índice (diez); en cambio, las más tolerantes a la contaminación -como Tubificidae- reciben la puntuación más baja (uno) (Roldán 2003). La suma total de estos puntajes da el índice, mediante el cual se clasifican los puntos de muestreo en seis clases de calidad de agua: las dos primeras clases pertenecen al grupo de aguas no contaminadas, mientras que los valores más bajos corresponden a las aguas con mayor nivel de contaminación (Bartram y Ballance 1996). Con los resultados obtenidos en la aplicación de los índices se realizó un análisis de varianza, donde los tratamientos fueron los diferentes anchos y la variable de respuesta fue el valor del índice BMWP.

## Resultados y discusión

### Caracterización de la población de bentos en los afluentes de la microcuenca y su relación con los anchos de franja ribereña

En los 30 puntos de observación distribuidos en 20 bosques ribereños de la microcuenca bajo estudio se encontraron 2032 individuos de 42 familias y 11 órdenes, de las cuales, Hydropsychidae fue la familia con mayor número de individuos registrados (28% del total), seguida por Ptilodactylidae con 8%. El número de familias y órdenes fue inferior al reportado por Chará (2003) en un estudio realizado en Colombia, en donde se encontraron 61 familias y 17 órdenes en ríos con bosques ribereños. Se encontraron diferencias en el número de individuos ( $F=6,31$ ;  $gl=2$ ;  $p=0,0034$ ) y de familias de bentos ( $F=8,09$ ;  $gl=2$ ;  $p=0,0009$ ) en los diferentes anchos de franjas ribereñas. Los puntos de muestreo con anchos de franjas mayores de 250 metros presentaron los mayores promedios de individuos (49,6) y de familias (10,2) del total de bentos colectados en cada estación de muestreo (Cuadro 1).

La diversidad de organismos bentónicos en la microcuenca de Sesesmiles aumentó con el ancho de franja del bosque ribereño (Figs. 2 y 3). Estudios realizados por Sweeney (1993) en Estados Unidos, Lester et al. (1994) en Nueva Zelanda y Brewin et al. (1995) en Nepal reportan que las comunidades de macroin-

vertebrados bentónicos se relacionan con el ancho de las franjas ribereñas. El ancho de franja que se recomienda respetar para conservar la calidad del agua depende de otros factores como la pendiente de los bancos aluviales, o el tipo de uso del suelo alrededor de la franja ribereña.

Las características químicas del agua fueron evaluadas como covariables en el análisis de varianza. Se encontró que solamente la covariable pH del agua fue estadísticamente significativa ( $F=8,31$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0057$ ) en relación con el número de familias encontradas. La contaminación de los ecosistemas acuáticos con residuos orgánicos o industriales rompe el equilibrio ecológico, lo cual provoca cambios drásticos de pH que hacen que los fenómenos de respiración y fotosíntesis se vuelvan más marcados, ocasionando el agotamiento del oxígeno en las horas de la noche y exceso de producción durante el día. Así, la mayoría de las especies disminuyen su capacidad de reproducción y supervivencia hasta que terminan por desaparecer (Roldán 2003).

El índice de diversidad de Shannon fue diferente entre los anchos de franjas ribereñas ( $F=5,2$ ;  $gl=2$ ;  $p=0,0087$ ): cuanto mayor es el ancho de la franja ribereña, mayor tiende a ser el índice de diversidad de Shannon (Fig. 4). Existe un efecto del ancho de franja ribereña sobre los ecosistemas acuáticos, ya que al aumentar el ancho de la franja aumentan las cualidades de filtro de la vegeta-

**Cuadro 1.** Promedio de individuos y familias de macroinvertebrados bentónicos identificados en diferentes anchos de franja ribereña en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras, 2005

Macroinvertebrados bentónicos	Anchos de franjas de bosques ribereños		
	<50 m n=36	50-250 m n=18	>250 m n=6
Promedio de individuos por punto	28,78 ± 0,36 b*	41,61 ± 0,60 a	49,67 ± 0,24 a
Promedio de familias por punto	7,69 ± 0,07 b	9,75 ± 0,11 a	10,20 ± 0,06 a

\*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), entre franjas de diferentes anchos.

ción ribereña y, en consecuencia, la retención del exceso de sedimentos, agroquímicos y nutrientes que por acción de las lluvias discurren hacia los cauces. Además se encontró una correlación significativa entre el índice de Shannon y las covariables pH ( $F=5,20$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0267$ ) del agua en cada punto de muestreo y promedio del dap de los árboles ( $F=10,13$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0025$ ) en el área de 78 m<sup>2</sup> alrededor del punto de muestreo. En estudios realizados en Borneo (Iwata et ál. 2003) se encontró que al disminuir el tamaño de la franja ribereña, por alteración humana, aumentan los impactos de agroquímicos y la deposición de sedimentos, y disminuye la cantidad de hábitats disponibles y se reduce la diversidad en los cauces (Reice et ál. 1990).

### Índice BMWP

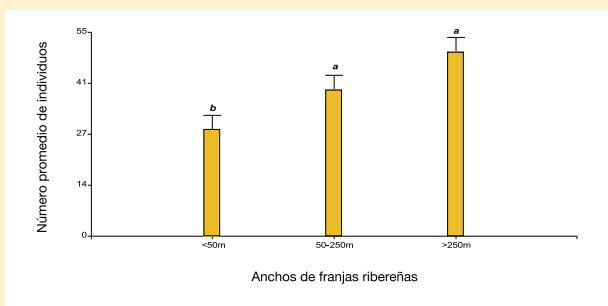
Se encontraron diferencias significativas entre el valor del índice BMWP y las categorías de anchos de franja de los ecosistemas ribereños ( $F=8,77$ ;  $gl = 2$ ;  $p=0,0005$ ) (Fig. 5). Este resultado indica que existe una relación directa entre la calidad del agua y el ancho de franja ribereña, el cual es consistente con resultados reportados por Gove et ál. (2001). Los anchos mayores de 50 m presentaron mejor calidad de agua, con un nivel de contaminación moderada y calidad regular.

Barton y Davies (1992) demostraron que mientras más anchas sean las franjas ribereñas, mayor es la capacidad de que se reduzca, por medio de la infiltración radicular, la concentración de herbicidas y el

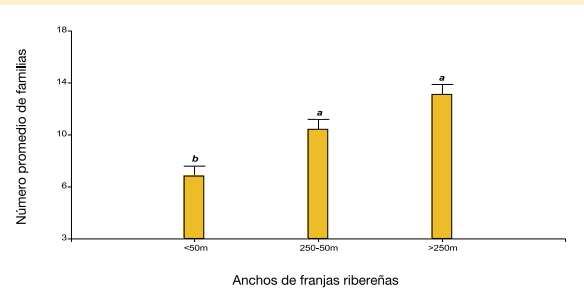
exceso de fertilizantes que llegan a los cursos de agua en las microcuencas. En zonas tropicales, como es el caso de la microcuenca del río Sesesmiles, con alta precipitación y bancos aluviales con pendientes promedio de 40%, es necesario mantener franjas ribereñas con anchos mayores a 50 m para que ayuden a la conservación efectiva de la calidad del agua.

### Conclusiones

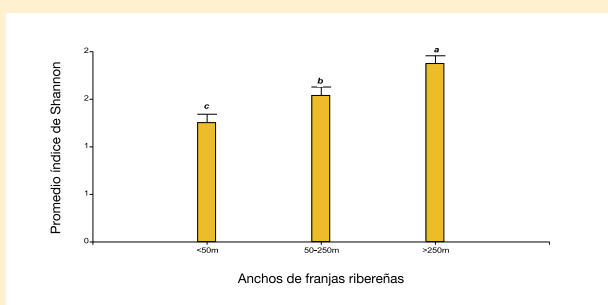
Según el índice BMWP, entre mayor sea el ancho de la franja ribereña en las quebradas de la parte media y alta de la microcuenca del río Sesesmiles, menor será la contaminación del agua. Esto sugiere que en las zonas tropicales, la conservación y restauración de franjas ribereñas



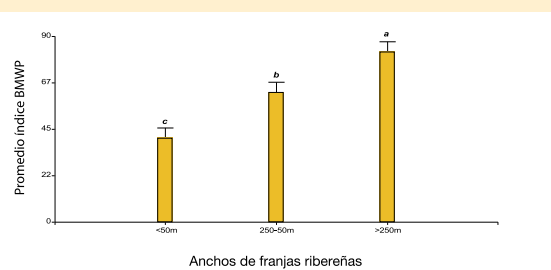
**Figura 2.** Número promedio de individuos de bentos observados en cada uno de los puntos muestreados en las diferentes categorías de ancho de franja ribereña en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras, 2005



**Figura 3.** Número promedio de familias de bentos observadas en cada uno de los puntos muestreados en las diferentes categorías de ancho de franja ribereña en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras, 2005



**Figura 4.** Diversidad de familias de bentos colectados en cada uno de los puntos muestreados en las diferentes categorías de ancho de franja ribereña en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras, 2005



**Figura 5.** Promedio del índice BMWP aplicado en las comunidades de bentos observados en cada uno de los puntos muestreados en las diferentes categorías de ancho de franja ribereña en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras, 2005

con más de 50 m pueden ayudar a disminuir los impactos negativos de la actividad antrópica y mantener la calidad del agua, ya que estas franjas funcionan como un eficaz filtro de los sedimentos, fertilizantes y agroquímicos (Rodríguez y Nave 2000).

El índice BMWP indica que en la microcuenca del río Sesesmiles la calidad del agua va de mala y contaminada hasta regular, eutrófica y con contaminación moderada, no apta para el consumo humano. Evidentemente, esto implica riesgos para la salud de los habitantes en la microcuenca y aguas abajo.


Los datos obtenidos de las poblaciones de macroinvertebrados bentónicos muestran que estos ayudan a determinar el estado de la calidad del agua, en función del ancho de las franjas ribereñas. De hecho, podrían ser utilizados como

indicadores para medir los impactos de la adopción de tecnologías de conservación y restauración de cuencas en los trópicos.

### Recomendaciones

Es importante tomar medidas para la conservación de las franjas ribereñas anchas en la microcuenca del río Sesesmiles, ya que estas ayudan a mantener la calidad del agua y conservan la integridad biológica de los ecosistemas acuáticos. En cauces prioritarios, donde el agua es utilizada para el consumo humano y las pendientes de los bancos aluviales son pronunciadas, es necesario establecer franjas ribereñas de más de 50 m para conservar mejor la calidad del agua. Lo mismo debería hacerse en las márgenes de las nacientes.

La municipalidad de Copán Ruinas, junto con las organizaciones

locales y las instituciones nacionales responsables, deben promover estrategias y acciones para conservar los pocos bosques ribereños que aun quedan en la microcuenca del río Sesesmiles y tratar de recuperar y restaurar los que han sido eliminados o degradados. Velar por el cumplimiento de la normativa vigente con respecto a la franja ribereña que debe ser mantenida a ambos márgenes del cauce de quebradas y ríos debe ser parte de esa gestión integral. 

### Agradecimientos

A los productores don Alfredo Morales, don Marco Antonio Guerra, don Javier Morales, don Ángel Pérez Morales, por la colaboración recibida. A Karim Musálem y Nina Duarte, por la asesoría recibida. Con mucho cariño.

### Literatura citada

- Arcos, TI. 2005. Efecto del ancho de banda de los ecosistemas ribereños en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Turrialba, CR, CATIE. Tesis Mag. Sc. 141 p.
- Barton, JL; Davies, PE. 1992. Buffer strips and streamwater contamination by atrazine and pyrethroids aerially applied to *Eucalyptus nitens* plantations. Australia forestry 56(3):201-210.
- Bartram, J; Ballance, R. 1996. Water quality monitoring. A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. Londres, UK, UNEP/WHO. 383 p.
- Brewin, PA; Newman, TML; Ormerod, SJ. 1995. Patterns of macroinvertebrate distribution in relation to altitude, habitat structure and land use streams of the Nepalese Himalaya. Archive fur Hydrobiology 135:79-100.
- Chará, JO. 2003. Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. Cali, CO, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. 52 p.
- Fischer, R; Martin, C; Fischenich, C. 2000. Improving riparian buffer strips and corridors for water quality and wildlife. International conference on riparian ecology and management in multi-land use watersheds, Middleburg, Virginia, August, American Water Resources Association. p. 457-462.
- Gove, N; Edwards, T; Conquest, L. 2001. Effects of scale on land use and water quality relationships: A longitudinal basin-wide perspective. Journal of American Water Resources Association 37(6):1721-1733.
- Iwata, T; Nakano, S; Inoue, M. 2003. Impacts of past riparian deforestation on stream communities in a tropical rain forest in Borneo. Ecological Applications 13(2):461-463.
- Kauffman, JB; Kruger, WC. 1984. Livestock impacts on riparian ecosystems and streamside management implications: A review. Journal of Management 37(5):430-438.
- Lester, PJ; Mitchell, SF; Scott, D. 1994. Effects of riparian willow trees (*Salix fragilia*) on macroinvertebrate densities in two small central Otago, New Zealand, streams. Journal of Marine and Freshwater Research 28:267-276.
- Lowrance, R; Hubbard, R; Williams, RG. 2000. Effects of a managed three zone riparian buffer system on shallow groundwater quality in the Southeastern Coastal Plain. Journal of Soil and Water Conservation 55(2):212-219.
- Lima, W. de Paula; Zákia, BMJ. 2000. Hidrología de Matas Ciliares. Matas Ciliares: Conservação e Recuperação 33-43.
- MANCORSARIC (Mancomunidad de Municipios de Copán Ruinas, Santa Rita, Cabañas y San Jerónimo). 2003. Manejo de la subcuenca del río Copán para la protección del parque arqueológico de Copán Ruinas. (Perfil del proyecto). Santa Rita de Copán, HN, CATIE / MANCORSARIC. 33 p.
- McCune, B; Grace, JB. 2002. Analysis of Ecological Communities. Gleneden Beach, Oregon, US, MJM Software Designer. 300 p.
- Reice, SR; Wissmar, RC; Naiman, RJ. 1990. Disturbance regimes, resilience, and recovery of animal communities and habitats in lotic ecosystems. Environmental Management 14:647-659.
- Rodríguez, RR; Nave, GA. 2000. Heterogeneidade Florística Das Matas Ciliares. Matas Ciliares: Conservação e Recuperação 45-61 p.
- Roldán, GP. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia; uso del método BMWP/Col. Antioquia, CO, Universidad de Antioquia. 169 p.
- Scalley, HT; Aide, TM. 2003. Riparian vegetation and stream condition in a tropical agriculture-secondary forest mosaic. Ecological Applications 13(1):225-234.
- Sweeney, BW. 1993. Effects of streamside vegetation on macroinvertebrate communities on White Clay Creek in eastern North America. Proceedings. Philadelphia, US, Academy Natural Sciences 144:291-340.
- Villón, M. 2002. Hidrología. Cartago, CR, ITCR-CRRH. 430 p.



# Efectos del bosque ribereño y de las actividades antrópicas en las características físico-químicas y en poblaciones de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras<sup>1</sup>

**Lina Andrea García**

CIAT Asistente de investigación,  
Proyecto Comunidades y Cuencas  
garcial@catie.ac.cr; lingarci@hotmail.com

**Francisco Jiménez**

CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede afirmar que los cultivos y asentamientos humanos tienen un impacto negativo en la calidad del agua, al observarse diferencias en algunos parámetros físico-químicos y biológicos en la red hídrica del río Tascalapa. Sin embargo, a pesar de los cambios observados, según el ICA el agua es de óptima a buena calidad y según el BMWP, la calidad biológica del agua es excelente, con aguas no alteradas de modo sensible y con potencial para múltiples usos.

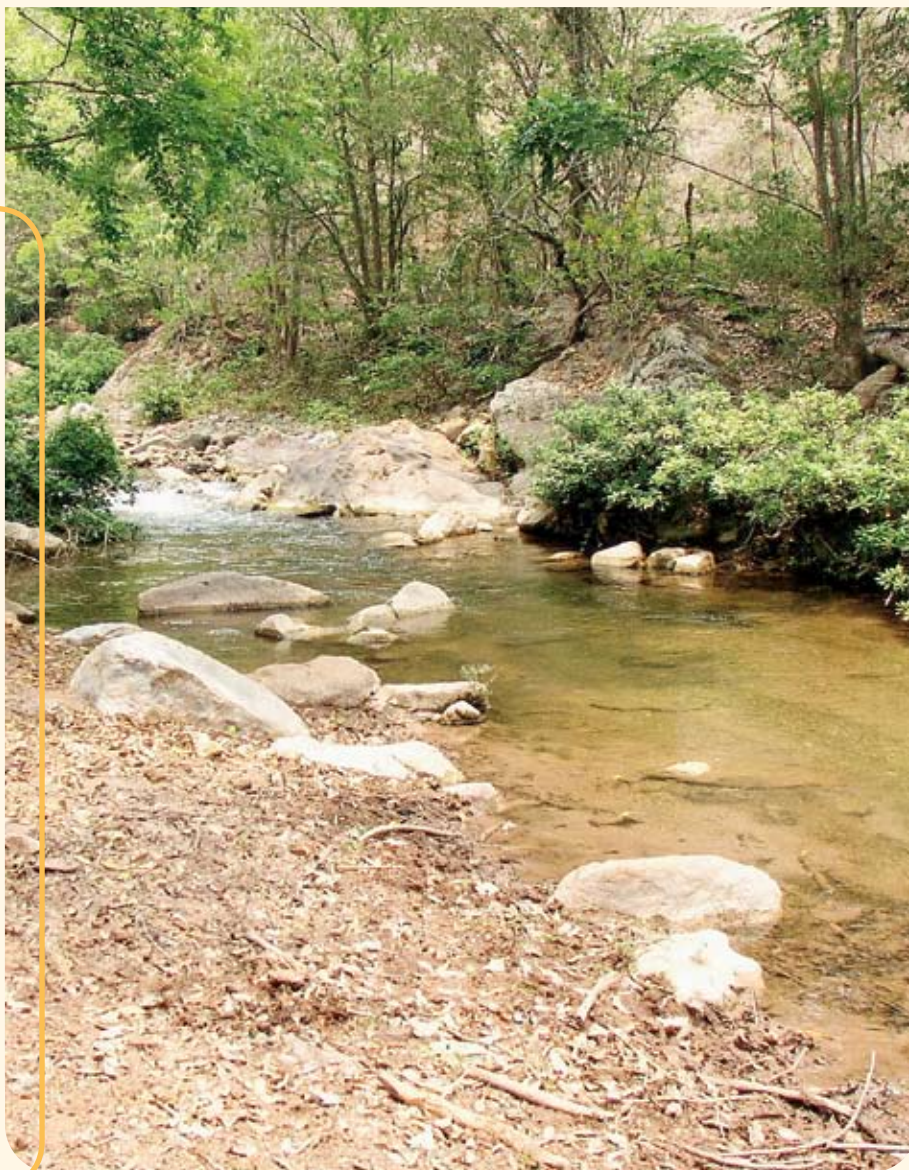


Foto: Lina Andrea García.

<sup>1</sup> Basado en García Obando, LA. 2003. Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa Yoro, Honduras. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 144 p.

## Resumen

Se efectuó una caracterización del estado físico-químico, geomorfológico y biológico en la red hídrica de la subcuenca del río Tascalapa, Honduras. Los datos fueron colectados en doce estaciones agrupadas en dos escenarios: cuatro estaciones con bosque y ocho estaciones con actividades agropecuarias y viviendas. Las variables biofísicas evaluadas fueron: estado de conservación de la vegetación ribereña, conservación del cauce y riqueza de hábitat en las fuentes. Los parámetros físico-químicos evaluados fueron: oxígeno disuelto (mg/l), sólidos totales disueltos (mg/l), conductividad (mS/cm), temperatura (°C), turbidez (UTN), nitratos (mg/l), ortofosfatos, pH y coliformes fecales (UFC). Las variables biológicas analizadas fueron valores de abundancia correspondiente a cada uno de los grupos de macroinvertebrados. Los resultados mostraron que los cultivos y asentamientos humanos tienen un impacto negativo en algunos parámetros físico-químicos y biológicos en la red hídrica; entre ellos, los coliformes fecales, el pH y la turbiedad. La interrelación observada entre el índice de uso de la tierra, la calidad física del cauce, el índice físico-químico de calidad del agua y los índices bióticos muestran que los macroinvertebrados son buenos predictores del estado de calidad del agua de las fuentes y pueden ser empleados como herramienta para medir los impactos de la adopción de tecnologías de conservación y restauración de cuencas.

**Palabras claves:** Bosque de ribera; cuencas hidrográficas; calidad del agua; polución del agua; macroinvertebrados; organismos indicadores; Honduras.

## Summary

### **Effect of riparian forest and of anthropic activities in both physic-chemical characteristics and benthic macroinvertebrate populations in the Tascalapa river sub-watershed, Honduras.**

The physical, chemical, geomorphological, and biological conditions were characterized in 12 sampling stations located in the Tascalapa River subwatershed, Honduras. Sampling stations were grouped into two treatments: four stations were dominated by forest and eight stations by agriculture and human settlements. The variables measured at each sampling station for the physical characterization were: the state of conservation of riparian vegetation, conservation of the channel, and habitat richness at source. The physico-chemical parameters measured were: dissolved oxygen (mg/l), total dissolved solids (mg/l), conductivity (mS/cm), temperature (°C), pH, turbidity (NTU), nitrates (mg/l), orthophosphates (mg/l), and fecal bacteria (UFC/ml). With regard to the biological variables, the abundance of each group of macroinvertebrates was determined. Results showed that crops and human settlements have a negative impact on some physico-chemical and biological parameters; among them: fecal bacteria, turbidity and pH. Interrelationships among the land use index, the physical quality of the channel, the water quality index, and biotic indices show that the macroinvertebrates are good indicators of water quality at source, and therefore could be used as an effective tool to evaluate the impacts of implementing measures for the conservation and restoration of watersheds.

**Keywords:** Riparian forests; watersheds; water quality; water pollution; macroinvertebrates; indicator organisms; Honduras.



## Introducción

Las características físicas y químicas del agua de los ríos son elementos integradores que ayudan a diagnosticar el grado de calidad y a identificar las consecuencias de las prácticas de manejo en la cuenca. Actividades como la agricultura y la urbanización modifican las características de la cobertura vegetal y afectan los patrones de escorrentía y la cantidad de sedimentos depositados en el cauce del río. Dichas características determinan el tiempo de concentración de la lluvia en la red hídrica y la cantidad de flujo dentro del cauce, y pueden tener efectos significativos en la calidad del agua y en la comunidad animal y vegetal del ecosistema lótico (Menzel et ál. 1984, Bain et ál. 1988, Statzner et ál. 1988). Otras de las modificaciones que se producen a gran escala es la alteración en la dinámica de los nutrientes en los ríos (Mishall et ál. 1989), la cual también ocasiona un gran impacto en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Richard y Mishall 1992, Ometo et ál. 2000).

Varios estudios demuestran que las comunidades lóticidas responden a cambios producidos en las condiciones ambientales a lo largo del gradiente longitudinal de los ríos. Dichos estudios se concentran en ecosistemas con alta cobertura boscosa en las riberas o en sistemas influenciados por varios contaminantes (Mishall et ál. 1983, Naiman et ál. 1987). Otras investigaciones han demostrado el impacto de la agricultura en los ecosistemas acuáticos (Wiley et ál. 1990, Delong et ál. 1994, Grubaugh et ál. 1996, Young y Huryn 1996). En sitios dominados por pasturas, la influencia de las fuentes de energía terrestre en la estructura y función del río puede verse reducida, ya que la entrada de materiales autóctonos puede ser fuente significativa de energía (Wiley et ál. 1990, Delong et ál.

1994). Sin embargo, la producción autóctona puede disminuir también por efectos acumulativos de las actividades agrícolas, como el incremento de la turbiedad y los depósitos de sedimentos que pueden disminuir la producción de algas (Young y Huryn 1996). Aunque los efectos de la agricultura en las fuentes de energía parecen obvios, los efectos en la función y composición de los macroinvertebrados bentónicos parecen ser menores (DeLong y Brusven 1998) y pueden depender de la duración e intensidad de las prácticas agrícolas.

niveles, como la calidad física y química del agua, la estabilidad de los cauces y los organismos acuáticos que allí viven.

El objetivo del estudio fue determinar los efectos del bosque ribereño y las actividades humanas en las características físicas y químicas del agua y en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del río Tascalapa, Honduras, con el fin de evidenciar algunos servicios ambientales que presta la zona ribereña en la conservación de la calidad del agua.



Foto: Lina Andrea García.

Estación de monitoreo con tratamiento agricultura - viviendas. La actividad antrópica tiene un impacto negativo en la calidad del agua del Río Tascalapa, Honduras

En la zona tropical también se han realizado algunos estudios. En Piracicaba, Brasil, Ometo et ál. (2000) reportan que el mal manejo del uso de la tierra afecta la riqueza de macroinvertebrados. Chara (2002) informa de resultados similares en el departamento del Quindío, Colombia, donde se encontró que los impactos de las actividades ganaderas se evidencian en diferentes

## Metodología

### Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en la subcuenca del río Tascalapa, departamento de Yoro, Honduras, la cual tiene una superficie de 112,8 km<sup>2</sup> (CIAT 2000). La temperatura media anual es de 27°C y la precipitación media anual es de 1295 mm, con dos periodos bien establecidos: uno lluvioso (mayo a octubre, 80% de la



precipitación) y otro seco (noviembre a abril, 13% de la precipitación).

La cobertura permanente consiste principalmente del cultivo del café, tanto en monocultivo como con sombra arbórea. Los bosques naturales han sido prácticamente eliminados, solo queda vegetación natural cerca de algunos cauces de ríos y en las laderas muy accidentadas y con pendientes muy fuertes. Además del café, se cultivan granos básicos (maíz, frijol) y en menor escala, cítricos y hortalizas. La mayoría de las familias crían cerdos y gallinas, y en algunos casos, ganadería de doble propósito.

El manejo agronómico de los sistemas de producción agrícola se basa en ronda, chapia y quema del rastrojo. La mayoría de los productores usan agroquímicos, principalmente para el maíz. La siembra se realiza al espeque y se efectúan dos ciclos de producción por año. El área está conformada por 18 comunidades, ubicadas en la zona alta y media de la subcuenca.

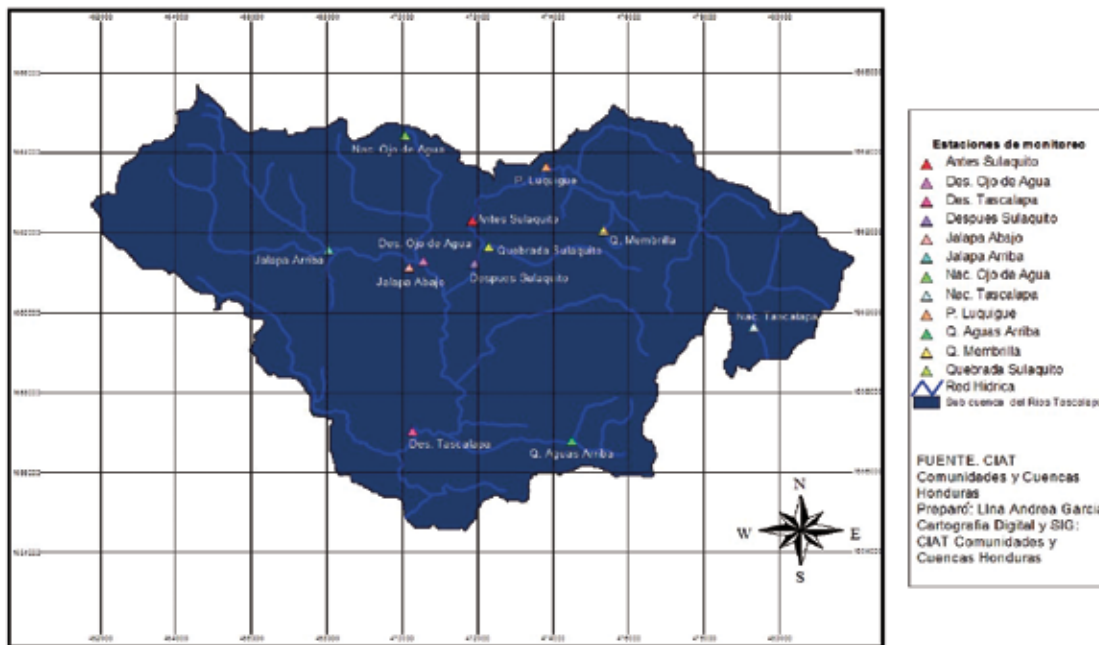
### Estaciones de muestreo

Se seleccionaron doce estaciones de monitoreo (Fig. 1). Cuatro de ellas presentan un grado muy bajo de influencia antrópica en el uso de la tierra y franjas ribereñas continuas (tratamiento bosque); las otras ocho tienen un mayor grado de influencia antrópica debido a las actividades agropecuarias, las franjas ribereñas son angostas y albergan algunos poblados (tratamiento agricultura-viviendas). El Cuadro 1 resume las características de las doce estaciones de monitoreo. Los muestreos se realizaron mensualmente de marzo a julio del 2003, durante la época seca e inicios de la época lluviosa. En cada campaña mensual de evaluación se visitó cada una de las estaciones de muestreo y se tomaron las muestras requeridas.

### Análisis físico-químico y bacteriológico

Las muestras para análisis físico-químico y bacteriológico se tomaron junto con las muestras biológicas en el centro del flujo hídrico del cauce;

se utilizaron frascos de polietileno y de vidrio, según el requerimiento del análisis, y se refrigeraron a 4°C hasta el momento de entregarlas al laboratorio. Los parámetros medidos directamente en el campo fueron: oxígeno disuelto (mg/l), sólidos totales disueltos (mg/l), conductividad (mS/cm), temperatura (°C), pH, turbidez (UTN), nitratos (mg/l) y ortofosfatos (mg/l). Estas mediciones se realizaron con equipos portátiles HACH: el oxígeno con el Sension 6, los sólidos totales disueltos, la conductividad y la temperatura con el Sension 5, el pH con el Sension 1, la turbidez con el equipo portátil 2100 P y los nitratos y fosfatos con el espectrofotómetro DR/2400. Las muestras para la medición de coliformes fecales (UFC) fueron llevadas al laboratorio y se analizaron según las especificaciones del “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater”, edición 17. A partir de los parámetros anteriores, se calculó el índice de calidad del agua (ICA), adaptado de Rojas (1991).



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones de muestreo en la subcuenca del Río Tascalapa  
Fuente: García (2003)

**Cuadro 1.** Descripción de las estaciones de muestreo en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras

Estación de muestreo y uso de la tierra	Altitud (msnm)	Ancho del río (m)	Profundidad del río (m)	Velocidad de flujo (m/s)	Temperatura del agua (°C)	Principal tipo de cobertura vegetal en las riberas	Composición del sustrato del lecho	Formas de uso de la tierra en el área
1. Nacimiento del río Tascalapa Bosque	1130	3,40	0,1	0,51	19,2	Bosque latifoliado continuo, gran proporción de especies nativas	60% grava, 10% troncos, 20% vegetación sumergida, 10% sedimentos	Bosque secundario y continuo; café con sombra
2. Quebrada Membrilla Bosque	786	4,14	0,1	0,32	21,5	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas	30% grava, 30% troncos, 30% vegetación sumergida, 10% sedimentos	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas
3. Nacimiento de la quebrada Ojo de Agua Bosque	781	5,53	0,12	1,13	20,0	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas	20% grava, 20% troncos, 30% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas
4. Quebrada Aguas Arriba Bosque	663	10,20	0,035	0,23	26,0	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas	10% grava, 20% troncos, 35% vegetación sumergida, 35% sedimentos	Bosque continuo latifoliado en el entorno cercano; pinos en las áreas montañosas
5. Después del poblado Luquique, en el río Tascalapa Agricultura-viviendas	730	18,41	0,11	1,16	23,3	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol	70% grava, 5% troncos, 5% vegetación sumergida, 20% sedimentos	Bosque ribereño latifoliado; pinos en las áreas alledañas y montañosas; cultivos y poblado Luquique
6. Quebrada Sulaquito Agricultura-viviendas	658	8,46	0,08	0,39	23,1	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	80% grava, 0% troncos, 0% vegetación sumergida, 20% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, pastoreo de ganado en época seca en las zonas de cultivo; bosque de pino en las áreas montañosas
7. Río Tascalapa, antes de la quebrada Sulaquito Agricultura-viviendas	698	13,83	0,24	0,62	24,2	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	70% grava, 0% troncos, 0% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, pastoreo de ganado en época seca en las zonas de cultivo; bosque de pino en las áreas montañosas
8. Río Tascalapa, después de la quebrada Sulaquito Agricultura-viviendas	629	13,73	0,27	0,70	22,8	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	70% grava, 0% troncos, 0% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, pastoreo de ganado en época seca en las zonas de cultivo; bosque de pino en las áreas montañosas
9. Antes de la desembocadura del río Tascalapa Agricultura-viviendas	530	22,64	0,3	0,64	21,4	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	70% grava, 0% troncos, 0% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, pastoreo de ganado en época seca en las zonas de cultivo; bosque de pino en las áreas montañosas

10. Desembocadura de la quebrada Ojo de Agua	631	4,0	0,10	0,91	25,0	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de viviendas, cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	50% grava, 10% troncos, 10% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, asentamientos humanos; bosque de pino y roble en las áreas montañosas
Agricultura-viviendas								
11. Río Jalapa Arriba	713	8,54	0,17	0,35	25,4	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de viviendas, cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	50% grava, 10% troncos, 10% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, asentamientos humanos; bosque de pino y roble en las áreas montañosas
Agricultura-viviendas								
12. Río Jalapa Abajo	672	13,19	0,32	0,40	25,1	Bosque ribereño angosto, latifoliado; presencia de viviendas, cultivos de maíz y frijol y pastoreo de ganado	50% grava, 10% troncos, 10% vegetación sumergida, 30% sedimentos	Áreas en barbecho, cultivos, asentamientos humanos; bosque de pino y roble en las áreas montañosas
Agricultura-viviendas								

### Recolección del material biológico, metodología de laboratorio y variables e índices biológicos

Para la colecta del material biológico se empleó una red manual acuática de 25 cm x 40 cm. Se realizaron tres submuestreos en todos los hábitats disponibles (sedimento, troncos, hojas y vegetación acuática); cada uno tuvo un volumen de 3 l. Las muestras biológicas se guardaron individualmente en recipientes con formol al 5% y se llevaron posteriormente al laboratorio. La separación de los macroinvertebrados bentónicos se realizó con la ayuda de un tamiz de ojo de malla de 2 mm de diámetro, mediante lavados reiterados. Posteriormente se identificaron los organismos al máximo nivel taxonómico posible (clase, orden, familia, género), con la ayuda de claves taxonómicas. El material separado e identificado se preservó en alcohol al 70%, rotulado y guardado en viales de vidrio.

Además de la variable abundancia de cada uno de los grupos de macroinvertebrados bentónicos, se utilizaron varios índices biológicos para describir la estructura y dinámica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el ecosiste-

ma. Como base se utilizó la unidad taxonómica de familia. Estos índices fueron:

- Índice de diversidad de Shannon-Weaver (Mc Cune y Grace 2002)
- Índice de dominancia de Simpson (McCune y Grace 2002)
- Riqueza numérica total de taxa
- Riqueza EPT: riqueza de taxa pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Crawford y Lenat 1989, Plafkin et ál. 1989, Kerans y Karr 1994)
- Índice de pérdida de taxa de Kothe (Schwoerbel 1975)
- BMWP: Biological Monitoring Working Party Score System (Armitage y Moss 1983).

### Determinación de índices geomorfológicos

Además de las variables físicas, químicas y biológicas se evaluaron los siguientes índices relacionados con las características biofísicas de los escenarios de muestreo:

- Índice de uso de la tierra en cada una de las estaciones de monitoreo (Ometo et ál. 2000).
- Índice cualitativo de características biofísicas del hábitat acuático ("Habitat Assessment") de la Agencia de Protección Ambiental

de los Estados Unidos (Barbour et ál. 1999), el cual considera los siguientes parámetros: sustratos disponibles para la fauna, perturbación de los hábitats disponibles, velocidad-profundidad del flujo hídrico, deposición de sedimentos, porcentaje de sustratos expuestos, alteración del cauce por dragado o canalización, frecuencia de hábitats o sustratos disponibles, estabilidad del cauce, protección de bordes del cauce por vegetación y ancho de la franja de vegetación ribereña.

### Análisis de los datos

Para analizar si hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de estaciones (bosque y agricultura-viviendas) y entre épocas de muestreo, con respecto a las diferentes variables e índices físicos, químicos, biológicos y geomorfológicos, se realizaron análisis de varianza y prueba de Duncan bajo un modelo irrestricto al azar.

Para el análisis de la información de los macroinvertebrados se utilizó el índice de similitud de Jaccard (McCune y Grace 2002), el cual es una medida de distancia que permite observar el grado de similitud de la composición de macroinvertebrados bentónicos entre los dos escenarios



de muestreo. Con base a los resultados de presencia / ausencia de familias, se efectuó un análisis de conglomerados por medio del ligamiento de Ward y el programa “Statistical Analysis Systems” (SAS).

Con el fin de observar el comportamiento de las variables físico-químicas, de los índices bióticos y de la calidad biológica del agua en todas las fuentes monitoreadas y durante las épocas de muestreo, se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) a partir de una matriz conformada por variables biológicas, físico-químicas y geomorfológicas por estación de muestreo.

### Resultados y discusión

Comportamiento de las variables bióticas y abióticas en relación con el uso de la tierra en la subcuenca del río Tascalapa

Estos resultados muestran la tendencia espacial y temporal de los parámetros físicos, químicos, biológicos y geomorfológicos en la sub-

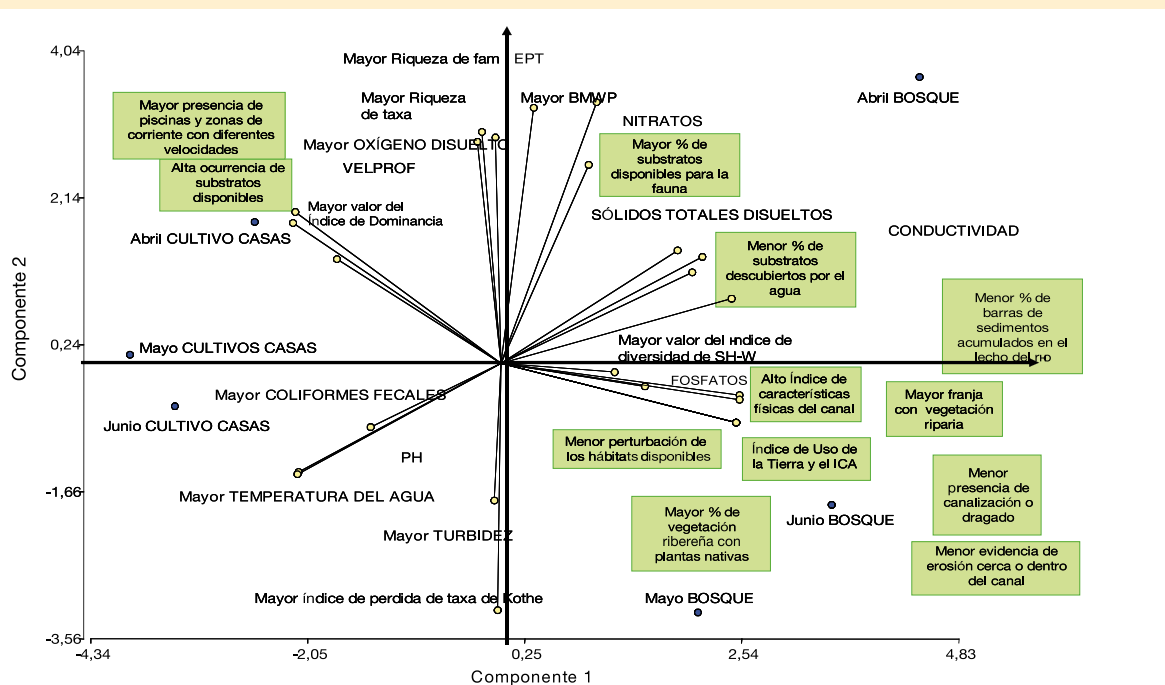
cuenca, con el propósito de evaluar el estado ecológico integral de los cursos de agua con relación al uso de la tierra. El análisis de componentes principales (ACP) mostró que los dos primeros componentes (variabilidad espacial según uso de la tierra y variabilidad temporal) explicaron el 76% de la variabilidad de los datos (Cuadro 2).

El análisis de componentes principales muestra que hay variables que se correlacionan mejor con el componente 1 y otras variables con el componente 2 (Fig. 2). El compo-

nente 1 muestra el gradiente de las estaciones de muestreo con diferente grado de influencia del uso de la tierra. Al lado derecho del componente 1 se agruparon las estaciones cuyo uso de la tierra predominante es bosque, y al lado izquierdo aquellas cuyo uso de la tierra predominante es agricultura y asentamientos humanos. Algunas variables bióticas, como el índice de diversidad Shannon-Weaver, presentaron una mayor correlación con el componente 1 (Cuadro 3), lo que indica que el índice fue mayor en las

**Cuadro 2.** Porcentaje de la variabilidad explicada por cada uno de los componentes principales

Componentes	Valor	Proporción	Proporción Acumulada
1	14,95	0,53	0,53
2	6,23	0,22	0,76
3	4,31	0,15	0,91
4	1,64	0,06	0,97
5	0,87	0,03	1,00



**Figura 2.** Representación gráfica del análisis de componentes principales para variables bióticas y abióticas, en relación con el uso de la tierra en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras

estaciones con mayor presencia de bosque y menor en las estaciones con mayor grado de influencia antrópica. Lo mismo ocurre con el índice de uso de la tierra, el índice físico-químico de calidad del agua (ICA), el índice físico de características físicas del canal y otras variables más específicas de caracterización física de la red de drenaje.

Estos resultados indican que las estaciones de monitoreo rodeadas de bosque presentaron mejor calidad del agua y varias características geomorfológicas favorables, tales como mayor protección al suelo en comparación con otros usos; franja con vegetación ribereña, alto porcentaje del bosque ribereño con plantas nativas; baja perturbación de los hábitats disponibles del río por sedimentos; poca evidencia de erosión, canalización y dragado en el cauce del río; bajo porcentaje de deposición de sedimentos en el lecho y más del 70% de sustratos disponibles para la fauna, tales como hojarasca, troncos, grava y vegetación. Para estas variables no hubo diferencias entre épocas, solamente entre tratamientos (Cuadro 4).

Algunos parámetros físico-químicos, como la conductividad y sólidos totales disueltos, presentaron valores más altos en las áreas con menor influencia antrópica (Cuadro 5) y mayor correlación con el componente 1 (Cuadro 3). Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 5), estos valores más altos en los parámetros de las estaciones con menor perturbación -principalmente en Membrilla y Nacimiento de Ojo de Agua- se deben posiblemente a las condiciones geoquímicas de la zona. Estudios efectuados por Chara (2002) en afluentes del río La Vieja, suroccidente colombiano, para evaluar las variaciones físico-químicas entre áreas boscosas, cafetaleras y ganaderas, indican que las concentraciones de sólidos disueltos fueron mayores en las quebradas que dre-

**Cuadro 3.** Correlaciones de las variables físicas, químicas, biológicas y geomorfológicas con los componentes 1 y 2 (variabilidad espacial según uso de la tierra y variabilidad temporal), subcuenca del río Tascalapa, Honduras

Variables	Componente 1	Componente 2
Índice de diversidad Shannon-Weaver	0,59	-0,06
BMWP	0,11	0,87
ICA	0,98	-0,18
Índice de dominancia de Simpson	-0,69	0,33
Riqueza de taxa	-0,04	0,76
Riqueza de familias EPT	-0,10	0,78
Índice de déficit de taxa de Kothe	0,01	-0,84
Índice de uso de la tierra	0,98	-0,18
Índice de características físicas del cauce	0,99	-0,09
Sustratos disponibles para la fauna	0,35	0,68
Perturbación de los hábitats disponibles	0,98	-0,18
Velocidad-profundidad	-0,88	0,45
Grado de deposición de sedimentos	0,95	0,24
Sustratos expuestos en el cauce	0,78	0,32
Alteración del cauce por canalización o dragado	0,98	-0,18
Frecuencia de hábitats o sustratos disponibles para la fauna	-0,87	0,49
Estabilidad del cauce	0,99	-0,10
Protección de bordes del cauce por vegetación	0,98	-0,18
Ancho de la franja de vegetación ribereña	0,98	-0,18
Nitratos	0,38	0,89
Fosfatos	0,46	-0,01
pH	-0,83	-0,39
Oxígeno disuelto	-0,11	0,74
Temperatura del agua	-0,83	-0,40
Turbidez	-0,03	-0,46
Conductividad	0,83	0,37
Sólidos totales disueltos	0,72	0,39
Coliformes fecales	-0,53	-0,23

nan las zonas boscosas debido a la descomposición constante de hojarasca que aporta ácidos húmicos y otros elementos disueltos al agua.

Volviendo de nuevo a la Fig. 2, al lado izquierdo del componente 1 se observan las estaciones con mayor grado de influencia antrópica en el uso de la tierra. Las variables que

presentaron la mayor correlación en este lado del componente fueron: mayor ocurrencia de hábitats disponibles, mayor presencia de pozas y zonas de corriente con diferentes velocidades, alto valor de índice de dominancia de Simpson, coliformes fecales, temperatura del agua y pH (Cuadro 3). El análisis de varianza

mostró que los parámetros coliformes fecales, oxígeno disuelto, turbidez y pH presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 5).

Las estaciones con mayor grado de influencia antrópica de uso de la tierra se caracterizaron por presentar menores puntuaciones en el ICA, índice de uso de la tierra, índice de diversidad de Shannon-Weaver y otras características geomorfológicas, como mayor porcentaje de sustratos descubiertos por el agua, incremento de la perturbación de los sustratos del río por sedimentación, y disminución del ancho y la composición de la vegetación ribereña. Estas estaciones también presentaron una mayor ocurrencia de hábitat disponibles debido a que, además de haber zonas de alta corriente en el río, hay una mayor heterogeneidad, mayor frecuencia de pozas, grava, acumulación de sedimentos, raíces de vegetación, troncos. El índice de dominancia de Simpson fue también mayor debido a la perturbación antes indicada.

En general la calidad del agua en la red hídrica del río Tascalapa es buena como uso potencial para múltiples usos del agua, según los índices ICA y BMWP. Los valores del índice ICA fluctuaron entre 56,6 y 77,6 unidades y los de BMWP entre 136 y 165 en todas las estaciones de monitoreo.

**En relación con el componente 2,** este eje mostró el gradiente temporal. Se observó que los índices de calidad biológica BMWP, la riqueza de taxa y riqueza de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera presentaron los valores máximos en época seca (abril), mientras que el índice de pérdida de especies fue mayor al inicio de la época lluviosa (junio) (Cuadro 6). Estos resultados se deben posiblemente a que en la época de lluvias, al incrementarse el caudal, algunos organismos son arrastrados, lo que ocasiona la disminución de algunos índices y el incremento de otros. El análisis de varianza evidenció que no hubo diferencias significativas entre épocas

**Cuadro 4.** Valores promedio de variables geomorfológicas para los tratamientos bosque y agricultura-viviendas, subcuenca del río Tascalapa, Honduras

Parámetros	Tratamientos		ANDEVA para tratamientos	
	Bosque	Agricultura y viviendas	F	P(x)<0,05
Índice de características físicas del cauce	207	144	49,42	0,0001*
Sustratos disponibles para la fauna	16	16	0,03	0,8670
Perturbación de los hábitats disponibles	17	12	9,05	0,0053*
Velocidad-profundidad	13	15	2,74	0,1085
Grado de deposición de sedimentos	14	11	5,68	0,0237*
Sustratos expuestos en el cauce	13	12	0,0013	0,9718
Alteración del cauce por canalización o dragado	20	18	4,29	0,0471*
Hábitats o sustratos disponibles para la fauna	16	18	4,72	0,0378*
Estabilidad del cauce	34	21	83,98	0,0001*
Protección de bordes del cauce por vegetación	32	14	28,12	0,0001*
Ancho de la franja de vegetación ribereña	34	7	192,29	0,0001*

**Cuadro 5.** Valores promedio de variables físicas, químicas y bacteriológicas para los tratamientos bosque y agricultura-viviendas, subcuenca del río Tascalapa, Honduras

Parámetros	Tratamientos		ANDEVA para tratamientos	
	Bosque	Agricultura y viviendas	F	P(x)<0,05
Nitratos (mg/l)	0,50	0,43	0,20	0,6563
Fosfatos (mg/l)	0,15	0,09	2,44	0,1266
pH	7,52	8,13	63,8	0,0001*
Oxígeno disuelto (mg/l)	6,46	7,05	4,35	0,0435*
Turbidez (UTN)	13,30	16,33	14,29	0,0005*
Conductividad (µS/cm)	318,5	293,8	0,66	0,4229
Sólidos totales disueltos (mg/l)	169,5	160,3	0,37	0,5468
Coliformes fecales (UFC/ml)	3,92	6,11	7,25	0,0033*

ni entre tratamientos para ninguno de los indicadores biológicos: índice de diversidad de Shannon-Weaver, índice de dominancia de Simpson, riqueza de taxa, BMWP, riqueza de familias EPT e índice de Kothe.

Algunas variables físico-químicas presentaron diferencias estadística-

mente significativas entre épocas. La turbidez fue mayor en la época de alta precipitación, probablemente debido al aumento de la escorrentía que provoca el arrastre de limos, arcillas y desechos. Este efecto fue más evidente en las estaciones con mayor grado de influencia antrópica



en el uso de la tierra, pues el grado de protección al suelo no es muy alto y, en consecuencia, aumenta el aporte de sedimentos y desechos producidos por la actividad antrópica y la presencia de microorganismos. A diferencia de los sólidos disueltos totales, la presencia de microorganismos es medida con dicho parámetro (Tebbutt 1999, Mitchell et ál. 1991). La concentración de nitratos, la conductividad y total de sólidos disueltos fue menor en la época lluviosa, debido posiblemente al efecto de dilución por el aumento de la precipitación y el caudal en la red hídrica.

### Composición de macroinvertebrados

Los macroinvertebrados han sido ampliamente usados como indicadores de calidad del agua, ya que brindan información de lo ocurrido horas y días antes de la toma de los datos (Roldán 1992). Los organismos bentónicos recolectados en el río Tascalapa y sus afluentes pertenecen a 10 órdenes, 69 familias y 112 géneros. Los órdenes que presentaron el mayor número de familias fueron Diptera (17), Coleoptera (13), Trichoptera (11), Odonata (10) y Ephemeroptera (6). La abundancia total encontrada fue de 29.604 individuos. Las familias que presentaron las mayores cantidades de géneros fueron: Elmidae (14) del orden Coleoptera; Baetidae (4), Leptophlebiidae (4) y Leptohiphiidae (3) del orden Ephemeroptera; Leptoceridae (3) del orden Trichoptera; Belostomatidae (3) del

orden Hemiptera; Ceratopogonidae (3), Limonidae (4), Tipulidae (3) y Dolichopodidae (3) del orden Diptera. Las demás familias estuvieron representadas por uno o dos géneros.

### Grado de similitud de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos entre los dos grupos de estaciones de monitoreo: agricultura-viviendas y bosque

El índice de similitud de Jacard y el análisis de conglomerados (Fig. 3) mostró diferencias significativas entre la fauna acuática asociada a las estaciones con bosque y las que tienen mayor actividad antrópica. En el grupo 2 (estaciones de muestreo con uso de la tierra bosque) se encontraron las siguientes familias: Hydrobiosidae (Trichoptera) con el género *Atopsyche* sp., Dixidae (Diptera) con el género *Dixela* sp., Megapodagrionidae con los géneros *Heteragrion* sp. y *Phylogenia* sp., Lestidae con el género *Lestes* sp. y Polythoridae con *Cora* sp., todas ellas del orden Odonata. En el grupo 1 (estaciones con mayor actividad de agricultura y presencia de viviendas) se encontraron las siguientes familias de insectos acuáticos: Hilopotamidae (Trichoptera), Euthyplocidae (Ephemeroptera), Athericidae (Diptera), Staphilinidae (Coleoptera), Hydrobiidae (Molusca), Oligochaeta (Anelida), y Pisauridae (Arachnida). Las demás familias encontradas estuvieron presentes en ambos grupos de estaciones; estas familias se caracte-

terizan por vivir en aguas con baja influencia de contaminación, tal como lo demuestran los valores del ICA, según los cuales, todas las estaciones de monitoreo presentaron aguas de buena calidad.

Según Ramírez et ál. (*Sometido*), el género *Cora* sp. encontrado en el grupo 2 de estaciones, es propio de quebradas con sombra dentro del bosque, puesto que los adultos al emerger y durante su etapa adulta son sensibles a la luz e intolerantes a la contaminación orgánica. De la Lanza Espino et ál. (2000) los han observado en arroyos sombreados en la selva alta perennifolia en México. Situación similar ocurre con el género *Heteragrion* sp., que según Roldán (1988), se caracteriza por vivir en quebradas que drenan en el bosque y viven en zonas donde abunda la hojarasca. De la Lanza Espino et ál. (2000) expresan que también este es un grupo intolerante a la contaminación orgánica y lo han observado en arroyos rocosos en selvas tropicales y bosque mesofíticos de montaña.

El género *Atopsyche* sp. (Hydrobiosidae, Trichoptera) habita en aguas bien oxigenadas con sustrato pedregoso y poco material vegetal (Ramírez et ál. (*Sometido*), Roldán 1988). Sin embargo, en los resultados obtenidos con este estudio, aunque se apareció en las estaciones con menor grado de influencia antrópica, se observó en áreas con gran abundancia de hojarasca debido a la influencia de la amplia franja de bosque ribereño, pero en zonas con baja perturbación de los sustratos por efecto de la sedimentación. Las demás familias encontradas en el grupo 2 se caracterizan por vivir en hábitat lénticos, una de las condiciones más frecuentemente observadas en la mayoría de estas estaciones. El género *Dixela* sp. (Dixidae, Diptera) habita áreas de arroyos rocosos, ríos de corriente lenta y charcas, adheridos a vegetación y roca (Roldán 1988). Según De la Lanza Espino et ál. (2000), estos organismos ocu-

### Cuadro 6.

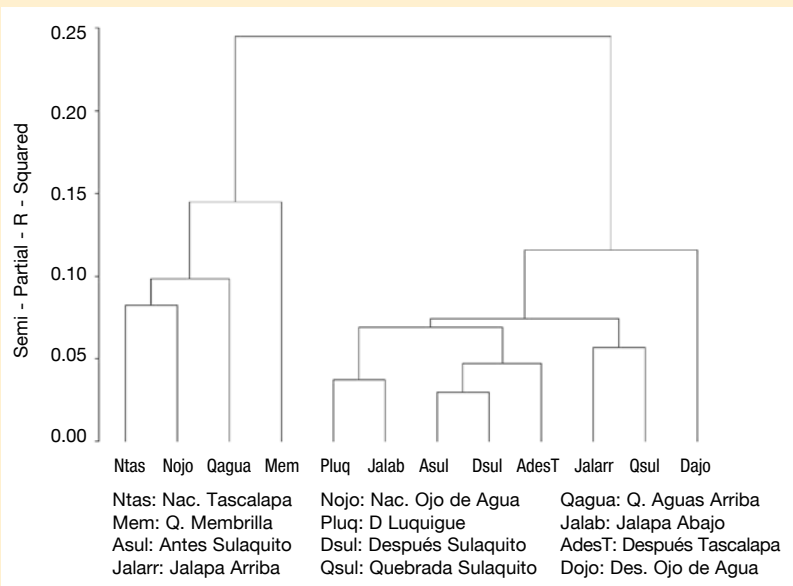
Promedio de los índices biológicos calculados en la diferentes épocas del muestreo en la cuenca del río Tascalapa, Honduras

Época	Diversidad Shannon-Weaver	Dominancia Simpson	Riqueza de taxa	BMWP	Riqueza EPT	Índice de Kothe
Marzo	1,04	0.18	26	136	9	23
Abril	1,06	0.15	31	165	11	15
Mayo	1,07	0.15	29	150	10	21
Junio	1,11	0.13	29	152	11	22

En sistemas lénticos y son tolerantes a la contaminación orgánica. En cuanto al género *Lestes* sp. (Lestidae, Odonata), se lo encuentra en zonas pantanosas y oligomesotróficas (Roldán 1988), aunque De la Lanza Espino et ál. (2000) expresan que habita en márgenes de sistemas lénticos y lénticos con detritus y sobre hidrófitas vasculares; ambas condiciones fueron observadas en las estaciones del grupo 2, principalmente en Nacimiento Ojo de Agua, Membrilla y Aguas Arriba, las cuales con frecuencia presentan zonas lénticas con abundancia de vegetación acuática.

En cuanto a los géneros encontrados en el **Grupo 1** (estaciones con mayor influencia de actividad agropecuaria y viviendas), *Chimara* sp. (Philopotamidae) habita aguas de poca corriente, oxigenadas, de fondo pedregoso y poco material vegetal; de hecho, sirve como indicador de aguas oligotróficas (Roldán 1988). De la Lanza Espino et ál. (2000) observaron que este género es intolerante a la contaminación orgánica y se caracteriza por encontrarse en ambientes lénticos con aguas cálidas. El género *Euthyplocia* sp. (Euthyplociidae) habita aguas cálidas y zonas arenosas; sirve como indicador de aguas limpias (Roldán 1988). La familia Athericidae habita zonas lénticas, en aguas bien oxigenadas y se clasifican como organismos de aguas oligotróficas (De la Lanza Espino et ál. 2000).

Los organismos del orden Oligochaeta se caracterizan por vivir en aguas eutroficadas, sobre fondo fangoso y con abundante cantidad de detritus, en zonas donde el oxígeno escasea, ríos contaminados con materia orgánica y aguas negras (Roldán 1988). En este estudio, las estaciones de monitoreo que tenían mayor actividad antrópica, mayor sedimentación, coliformes fecales y turbiedad (resultado de la erosión y descarga de desechos), fueron las estaciones de monitoreo con mayor presencia de oligoquetos.



**Figura 3.** Análisis de conglomerados empleando el índice de similitud de Jaccard para las diferentes estaciones de muestreo de calidad del agua en la subcuenca del Río Tascalapa, Honduras.

### Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede afirmar que los cultivos y asentamientos humanos tienen un impacto negativo en la calidad del agua, al observarse diferencias en algunos parámetros físico-químicos y biológicos en la red hídrica del río Tascalapa. Sin embargo, a pesar de los cambios observados, según el ICA el agua es de óptima a buena calidad y según el BMWP, la calidad biológica del agua es excelente, con aguas no alteradas de modo sensible y con potencial para múltiples usos.

Los índices bióticos calculados no mostraron diferencias significativas entre los dos grupos de estaciones de monitoreo, mientras que el análisis de conglomerados (índice de similitud de Jaccard y ligamiento de Ward) reflejó diferencias en la composición faunística entre los dos conjuntos de estaciones de muestreo.

La presencia de familias de macroinvertebrados bentónicos que caracterizaron cada uno de los dos grupos obtenidos en el análisis de conglomerados probablemente se relaciona con cambios significativos

en la franja ribereña, cambios de condiciones ambientales debido a la alteración del bosque ribereño que provocan incremento de la sedimentación, y cambios en las variables físico-químicas como turbiedad y coliformes fecales.

Los indicadores físico-químicos, como la conductividad y sólidos disueltos, deben ser usados con precaución en los programas de monitoreo, pues las altas concentraciones pueden deberse a las condiciones geoquímicas del sitio y a procesos naturales de descomposición de materia orgánica en los bosques ribereños. Este fue el caso en las estaciones de muestreo Nacimiento Ojo de Agua y Membrilla, catalogadas con menor grado de influencia de uso de la tierra, pero que presentaron mayores valores de conductividad y sólidos disueltos.

En general, las estaciones de monitoreo con mayor grado de influencia de uso de la tierra presentaron algunas variables físico-químicas con mayores concentraciones, tales como coliformes fecales, turbiedad y pH. Esto mostró que a medida

que se incrementa la frecuencia de coberturas que ofrecen menor grado de protección al suelo, el deterioro de la calidad del agua va en aumento.

El índice ICA recoge parámetros convencionales relacionados con la calidad para el abastecimiento público, pero puede ser utilizado para considerar condiciones generales del estado de las aguas naturales. Las mismas tareas se pueden hacer con el BMWP; sin embargo la aplicación del índice ICA demanda mayores costos. EL BMWP aplicado en el presente estudio fue adaptado

para Costa Rica. Con los resultados obtenidos se observó que funciona de manera adecuada en la subcuenca Tascalapa, Honduras.

La interrelación entre el uso de la tierra, la calidad física del canal y los índices bióticos muestra que son buenos predictores del estado de calidad del agua de las fuentes, y pueden ser empleados como herramienta para medir el impacto de la adopción de tecnologías de conservación y restauración de cuencas.

La conservación de la integridad ribereña ayuda a mantener una buena

calidad del agua para uso potencial, ya que se protege la integridad biológica del ecosistema acuático. Se observó que las zonas cafetaleras con sombra conservan esta integridad. 🌿

### Agradecimientos

A Monika Springer, de la Universidad de Costa Rica, a Bryan Finegan del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y a Sandra Brown del Centro Internacional de Agricultura Tropical, por su valioso apoyo y asesoría en la realización de este estudio.

### Literatura citada

- Armitage, PD; Moss, D. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Research* 17(3): 333-347.
- Bain, MB; Booke, JT; Booke, HE. 1988. Streamflow regulation and fish community structure. *Ecology* 69: 382-392.
- Barbour, MT; Gerritsen, J; Snyder, BD; Stribling, JB. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. 2 Ed. EPA 841-B-99-002. 200 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2000. Estudio de suelos en tres microcuencas de la subcuenca del Tascalapa: Luquigüe, Jalapa y Ojo de Agua. Tegucigalpa, Honduras, CIAT. Reporte interno de trabajo. 80 p.
- Chara, JD. 2002. Interacciones entre el uso del suelo y los aspectos bióticos y abióticos de quebradas en el departamento del Quindío. Cali, CO, CIPAV. Informe técnico. 9 p.
- Crawford, JK; Lenat, DR. 1989. Effects of land use on the water quality and biota of three streams in the Piedmont province of North Carolina. Raleigh, North Carolina, US, Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 89-4007. 25 p.
- Delong, MD; Brusven, B; Busven, MA. 1994. Allochthonous input of organic matter from different riparian habitats of an agriculturally impacted stream. *Environmental Management* 18: 59-71.
- \_\_\_\_\_; Brusven, MA. 1998. Macroinvertebrate community structure along the longitudinal gradient of an agriculturally impacted stream. *Environmental Management* 22: 445-457.
- García Obando, LA; 2003. Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa Yoro, Honduras. Tesis Mag. SC. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 144 p.
- Grubbaugh, JW; Wallace, JB; Houston, ES. 1996. Longitudinal changes of macroinvertebrate communities along an Appalachian stream continuum. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 53: 896-909.
- Kerans, BL; Karr, JR. 1994. A benthic index of biotic integrity (B-BI) for rivers of the Tennessee Valley. *Ecological Applications* 4: 768-785.
- Lanza Espino, G. De la; Hernández, SP; Carvajal, JL. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). Ciudad de México, México, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca / Comisión Nacional de Agua / Universidad Nacional Autónoma de México. 632 p.
- McCune, B; Grace, JB. 2002. Analysis of ecological communities. Oregon, US, MjM Software Design. 392 p.
- Menzel, BW; Barnum, JB; Antosh, LM. 1984. Ecological alterations of Iowa prairie-agricultural streams. *Iowa-State-Journal-of- Research*. 59(1): 5-30.
- Mishall, GW; Brock, JT; Varley, JD. 1989. Wildfires and yellowstone stream ecosystem. *Bioscience* 39:707-715.
- \_\_\_\_\_; Peterson, RC; Cummins, KW; Bott, TL; Sedell, JR; Cushing, CE; Vannote, RL. 1983. Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics. *Ecological Monographs* 53: 1-15.
- Mitchell, MK; Stapp, WB; Bixby, KP. 1991. Manual de campo de proyecto del río; una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo. Michigan, US. 50 p.
- Naiman, RJ; Melillo, JM; Lock, MA; Ford, TE; Reice, SR. 1987. Longitudinal patterns of ecosystem processes and community structure in a subarctic river continuum. *Ecology* 68: 1139-1156.
- Ometo, JP; Matinelli, LA; Ballester, MV; Gessner, A; Krusche, AV; Victoria, RL; Williams, M. 2000. Effects of land use in water chemistry and macroinvertebrate in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil. *Freshwater Biology* 44: 327-337.
- Plafkin, JL; Barbour, MT; Porter, KD; Gross, SK; Hughes, RM. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in stream and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. United States Environmental Protection Agency EPA/ 4444/4-89-001. 5 p.
- Ramírez, A. Odonata. Artrópodos y moluscos de agua dulce de Costa Rica, con claves para su identificación. I: Insectos. *Revista Biología Tropical (CR). (Somatido a consideración)*.
- Richards, C; Mishall, GW. 1992. Spatial and temporal trends in stream macroinvertebrate species assemblages: The influence of watershed disturbance. *Hydrobiologia* 241: 173-184.
- Rojas, O. 1991. Índices de calidad de agua en fuentes de captación. *In: Memorias del Seminario Internacional "Control de calidad de agua para consumo humano"* [Bogotá, CO,]. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. p. 22-38.
- Roldán, PG. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, CO, Universidad de Antioquia. 528 p.
- \_\_\_\_\_. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Medellín, CO, Editorial Presencia. 120 p.
- Schwoerbel, J. 1975. Métodos de hidrobiología (biología de agua dulce). Madrid, ES, Blume. 262 p.
- Statzner, B; Gore, JA; Resh, VH. 1988. Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of the North American Benthological Society* 7:307-360.
- Tebbutt, THY. 1999. Fundamentos de control de la calidad del agua. México, Limusa. 239 p.
- Wiley, MJ; Osborne, LL; Larimore, RW. 1990. Longitudinal structure of an agricultural prairie river system and its relationship to current stream ecosystem theory. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47: 373-384.
- Young, RG; Hury, AD. 1996. Inter-annual variation in discharge controls ecosystem metabolism along a grassland river continuum. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 53: 2199-2211.



# Manejo de recursos naturales a partir de servicios ambientales prioritarios en la cuenca del lago de Yojoa, Honduras<sup>1</sup>

**Jimmy Andino**

Col. Rosario, calle principal casa 3519.  
Tegucigalpa DC, Honduras  
jandino@catie.ac.cr; andinomejia@yahoo.es

**José Joaquín Campos**

CATIE. jcampos@catie.ac.cr

**Róger Villalobos**

CATIE. rvillalo@catie.a.cr

**Cornelis Prins**

CATIE. prins@catie.ac.cr

**Jorge Faustino**

CATIE. faustino@catie.ac.cr

La jerarquización de los servicios ambientales se basó en el orden en que fueron identificados por los asistentes y en la frecuencia con que se mencionaron en los talleres. Por lo tanto, los servicios ambientales prioritarios fueron:

- 1) provisión de agua para consumo humano,
- 2) variedad de paisajes para turismo-belleza escénica y
- 3) provisión de hábitat para la diversidad.



Foto: Jimmy Andino.

<sup>1</sup> Basado en Andino, J. 2005. Planificación del manejo de los recursos naturales con base en los servicios ambientales prioritarios de la subcuenca del lago de Yojoa, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 170 p.

## Resumen

La investigación tuvo como objetivo aportar lineamientos para la planificación del manejo de los recursos naturales con base en la provisión de servicios ambientales prioritarios de la subcuenca del lago de Yojoa, Honduras. Los servicios ambientales caracterizados fueron: 1) aprovisionamiento de agua para consumo humano, 2) diversidad de paisaje para turismo y 3) conservación de hábitat para la biodiversidad. La metodología se basó en el enfoque ecosistémico y constó de tres etapas: identificación, caracterización y diseño de los elementos de planificación de los servicios ambientales de la subcuenca. Con base en el valor de importancia de los tres servicios ambientales priorizados se determinaron las zonas generadoras. La existencia de un engranaje institucional en la zona permitiría establecer un sistema de pago por servicios ambientales que promueva el mantenimiento de los servicios prioritarios, estimule a los productores y garantice el disfrute de los mismos a los usuarios.

**Palabras claves:** Recursos naturales; conservación de los recursos; servicios ambientales; pago por servicios ambientales; abastecimiento de agua; turismo; biodiversidad; lago de Yojoa; Honduras.

## Summary

**Natural resources management for environmental services in Yojoa Lake watershed, Honduras.** The study provided guidelines for planning the natural resources management basing on the environmental services provided by Yojoa Lake watershed, Honduras. The environmental services characterized were: 1) drinking water, 2) landscape for tourism, and 3) habitat for biodiversity. The methodology was based on the ecosystemic approach, and comprised three steps: identification, characterization and design of tools for planning environmental services management in the watershed. Basing on the importance value of prioritized environmental services, generating areas were defined. The existing institutional support in the region would help to establish an environmental service payment to promote the conservation of the services prioritized, motivate producers, and guarantee the users' right to enjoy them.

**Keywords:** Natural resources; resource conservation; environmental services; water supply; tourism; landscaping; biodiversity; Yojoa Lake; Honduras.

### Marco teórico y conceptual

Los procesos de manejo de los recursos naturales basados en el enfoque ecosistémico (EE) con frecuencia requieren la toma de decisiones que involucran diversidad de intereses y percepciones. Según la Convención de Diversidad Biológica, el EE es “una estrategia para la gestión integrada de tierras, agua y recursos vivos, que promueve la conservación y utilización sostenible de modo equitativo” (CBD 2002). Por otra parte, la planificación significa prepararse para tomar decisiones a partir del poder que se ostenta; o sea que la planificación es parte

del ejercicio del poder dentro de la sociedad (Ingelstam 1987). En la planificación regional (que es de hecho una planificación espacial), la delimitación de los espacios regionales puede obedecer a la política administrativa, la cual segmenta el espacio geográfico según intereses políticos y gerenciales, y no tanto por razones socioeconómicas, culturales o ecológicas. En contraposición, se pueden definir unidades espaciales con base en una perspectiva social y ambiental, como sucede con las cuencas hidrográficas como unidades de planificación (Hennao 1988, Buarque 1992, Morales 2001, World Vision 2004).

El objetivo principal del manejo de una cuenca debe ser alcanzar un uso racional de los recursos naturales, considerando al ser humano y la comunidad como agentes protectores o destructores (Ramakrishna 1997). El manejo de las cuencas hidrográficas es un proceso continuo, dinámico y coherente, en donde se pueden reajustar planes, programas y proyectos de conservación y preservación orientados a mejorar la calidad de vida de los pobladores (OEA 1978, Abraeo 2000). En todo proceso de manejo de recursos naturales donde las personas cumplen un papel fundamental, surge siempre un componente de organización y

conflictos de intereses. Para que las instituciones puedan cumplir adecuadamente con sus funciones, estas deben ser interiorizadas, aceptadas socialmente y aplicadas; esto se conoce como “institucionalizar”. La institucionalización conlleva un proceso de incorporación y adopción de determinados principios, valores, actitudes y acciones de las personas e instituciones para el manejo del medio ambiente (Prins 2004).

En un contexto de planificación para el manejo de cuencas es importante destacar el papel de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas. Los bosques son los mayores ecosistemas en el mundo que contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad, la conservación de suelos, la provisión de agua en calidad y cantidad, el secuestro de carbono, la protección de cuencas hidrográficas, la producción de madera, belleza escénica, almacenamiento de nutrientes, recreación, turismo y patrimonio cultural (Casaza 2001). Según Nasi et ál. (2002), las funciones de un ecosistema son los procesos biofísicos que tienen lugar en ese ecosistema y pueden caracterizarse independientemente del contexto humano; de esta manera, los servicios ambientales son el resultado de las funciones del ecosistema que benefician a los seres humanos.

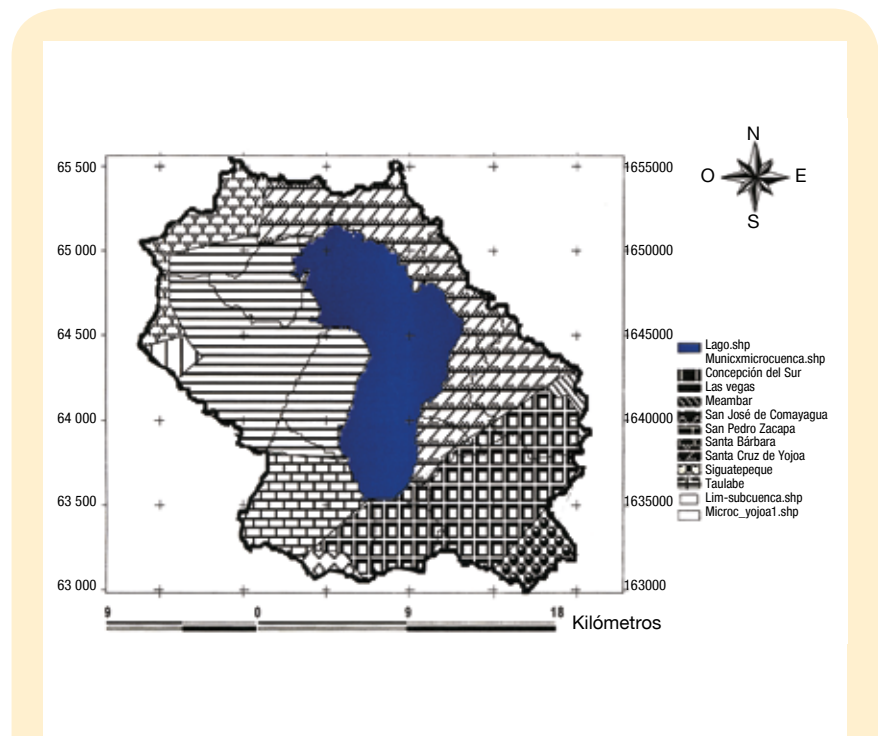
En la subcuenca del lago de Yojoa en Honduras se diagnostica una problemática territorial que resulta de una multitud de situaciones que ocasionan deterioro y que no responden a una causa única. Entre los principales factores ambientales que afectan la subcuenca se encuentran la deforestación, la contaminación hídrica, el deficiente saneamiento ambiental, la erosión y sedimentación, la presión demográfica, la extracción excesiva de agua mediante acueductos para generación de energía hidroeléctrica y la descarga en el pasado de metales pesados al lago por la compañía minera que opera en la zona (MARENA 2003).

La planificación y gestión de los recursos naturales requiere no solamente de un espacio físico donde ejecutarse sino también de una verdadera y efectiva participación de los actores involucrados. Por ende, se requiere de un modelo de desarrollo que mejore la relación entre el ser humano y los recursos naturales, a partir de la planificación a escala de paisaje. El EE es ideal para tal fin, ya que permite desarrollar herramientas efectivas de planificación, gestión y manejo (García 2003). Esta investigación se enfoca en la necesidad de orientar la planificación y ordenamiento territorial de la subcuenca de Yojoa, a fin de paliar el deterioro de los recursos naturales y de los servicios ambientales que provee. El objetivo del estudio fue aportar lineamientos para la planificación ecosistémica del manejo de los recursos naturales, teniendo como fin último la sostenibilidad de los servicios ambientales

prioritarios en la subcuenca. Así, se identificaron y caracterizaron los servicios ambientales prioritarios de la subcuenca, se definieron las áreas proveedoras de los mismos y se establecieron lineamientos generales para el manejo sostenible de esos servicios. Este artículo se enfoca en los resultados más importantes de la etapa de caracterización y ubicación de las zonas generadoras de servicios ambientales en la subcuenca.

### Metodología

La subcuenca del lago de Yojoa se encuentra en el noroeste de Honduras entre los departamentos de Comayagua, Cortés y Santa Bárbara (14°45'00" - 14°57'00" Norte y 87°53'00" - 88°07'00" Oeste). La subcuenca tiene un área estimada de 44.138 ha (441,38 km<sup>2</sup>); aproximadamente 8348 ha corresponden al espejo de agua del lago. La subcuenca está conformada por 12 microcuencas (Fig. 1).



**Figura 1.** Ubicación de las doce microcuencas por municipio que conforman la subcuenca del lago de Yojoa, Honduras (MARENA 2003, adaptado por Andino 2005)



El estudio consistió de tres etapas que combinaron y adaptaron varias metodologías (Cuadro 1). Cada etapa buscaba responder y cumplir con objetivos específicos.

## Resultados y discusión

### Meta superior y protocolo de servicios ambientales

La meta superior de la estrategia de los servicios ambientales en la subcuenca de Yojoa se diseñó y validó junto con los actores locales. Esa meta describe el estado ideal de los servicios ambientales en la subcuenca bajo tres dimensiones (ambiental, político-institucional y económico-social). La meta superior de la estrategia es: *“La planificación participativa del manejo de los recursos naturales en la subcuenca del lago de Yojoa toma en consideración la provisión y mantenimiento de los servicios ambientales, facilitando el manejo sostenible implementado por los actores claves a escala de paisaje”*. El estándar de principios, criterios e indicadores (PCI) quedó conformado por esta meta superior, tres principios, siete criterios y ocho indicadores (Andino 2005; Andino et ál. 2006). El protocolo PCI diseñado fue útil para la búsqueda, colecta y jerarquización de la información aplicable en este tipo de estudios (Salazar 2003).

### Actores claves y servicios ambientales identificados y priorizados en la subcuenca

Junto con los principales actores locales se tuvieron tres talleres que permitieron identificar sectores organizacionales bien definidos: COHDEFOR y SERNA se identificaron como reguladoras de la política ambiental, las municipalidades como administradoras de los recursos naturales a escala local, las juntas de agua, comunidades y patronatos como usuarios y MARENA y AMUPROLAGO<sup>2</sup> como entes de gestión y apoyo técnico. Anteriores

**Cuadro 1.**

Proceso metodológico para la planificación del manejo de los recursos naturales con base en los servicios ambientales prioritarios de la subcuenca del lago de Yojoa, Honduras

Etapa	Metodologías empleadas	Producto esperado
I Etapa: Identificación de los principales servicios ambientales (SA) en la subcuenca del lago de Yojoa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco jerárquico de PCI (Lammerts van Bueren y Blom 1997)</li> <li>• Adaptación de los lineamientos de evaluación de los indicadores para el monitoreo de concesiones (Carrera 2000)</li> <li>• Tres talleres con actores claves en diferentes municipios de la subcuenca</li> <li>• Metodología adaptada para la validación de las funciones, bienes y servicios del ecosistema (De Groot 1992)</li> <li>• Incorporación de los elementos de planificación en un bosque modelo (García 2003)</li> <li>• Herramientas participativas 'Perfil de grupo' y 'Entrevista semiestructurada' para la colecta de datos sociales (Geilfus 1997)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de la meta superior y el estándar preliminar de PCI de los SA en la subcuenca. El PCI fue utilizado para la jerarquización y ordenamiento de la información colectada.</li> <li>• Listado de los SA identificados en la subcuenca</li> <li>• Listado de SA prioritarios en la subcuenca.</li> <li>• Actores clave identificados</li> </ul>
II Etapa: Caracterización de los SA de la subcuenca de Yojoa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metodología y encuesta adaptada de valoración de los productos derivados del bosque (Talavera 2002)</li> <li>• Composición y medición de diversidad en bosques (Pérez et ál. 2000); adaptación de parcelas de muestreo en bosque latifoliado (Carrera 1996) y estructura del paisaje (Correa Do Carmo 2000)</li> <li>• Metodología de análisis multicriterio y ponderación de valor de importancia para agua en organismos de cuencas (adaptado de Jiménez y Faustino 2000, Faustino 2001)</li> <li>• Model Builder para transposición de atributos-capas (Velásquez 2004)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicio ambiental de turismo caracterizado en la subcuenca</li> <li>• Servicio ambiental de hábitat para la conservación de diversidad caracterizado en la subcuenca</li> <li>• Servicio ambiental de provisión de agua para consumo humano caracterizado en la subcuenca</li> <li>• Zonas generadoras de los tres SA prioritarios ubicadas espacialmente en la subcuenca</li> </ul>
III Etapa: Elementos de planificación en la estrategias y mecanismos de los SA en la subcuenca del lago de Yojoa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación y análisis del marco legal ambiental correspondiente a la subcuenca aplicable a los SA</li> <li>• Metodología de análisis del cluster socioeconómico de los servicios ambientales (Fürst et ál. 2004)</li> <li>• Tres reuniones con actores claves para informar de la estrategia y del mecanismo de creación de un fondo ambiental por turismo</li> <li>• Entrevistas, colecta y análisis de información secundaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lineamientos generales de manejo de los SA priorizados</li> <li>• Criterios que orienten un mecanismo para el futuro pago por servicio ambiental y la creación de un fondo ambiental por turismo en la subcuenca</li> <li>• Limitaciones y oportunidades identificadas para la implementación de un pago por servicios ambientales (PSA)</li> <li>• Identificada y definida la participación de los diferentes actores en la estrategia de PSA</li> </ul>

estudios sobre operación y diseño de organismos de cuencas en Honduras destacan esta participación institucional (Meza 2004, Otero 2004). Otras asociaciones existentes en la zona (hoteles, restaurantes, guías

turísticos, pescadores, etc.) se orientan a la promoción de la actividad económica que desempeñan.

La mayoría de los actores claves reconocen *beneficios ecológicos* (regulación hídrica, conservación de

<sup>2</sup> COHDEFOR: Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal; SERNA: Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente; MARENA: Manejo de Recursos Naturales en Cuencas Prioritarias; AMUPROLAGO: Asociación de Municipios en pro de la Conservación del Lago de Yojoa.

biodiversidad, control de erosión), *sociales* (agua para consumo humano, educación ambiental) y *económicos* (comercialización de fauna y flora, turismo, explotación minera, generación de energía hidroeléctrica, suelo fértil para cultivo). Los talleres arrojaron un total de 21 servicios ambientales identificados, distribuidos en diez bienes ambientales correspondientes a las cinco funciones del ecosistema (regulación, hábitat, producción, información y transporte). El listado de los servicios ambientales identificados aparece en el Cuadro 2.

La jerarquización de los servicios ambientales se basó en el orden en que fueron identificados por los asistentes y en la frecuencia con que se mencionaron en los talleres. Por lo tanto, los servicios ambientales prioritarios fueron: 1) *provisión de agua para consumo humano*, 2) *variedad de paisajes para turismo-belleza escénica* y 3) *provisión de hábitat para la diversidad*.

### Caracterización de los servicios ambientales priorizados

#### *Provisión de agua para consumo humano*

Las doce microcuencas de la subcuenca se jerarquizaron según su grado de importancia para el aprovisionamiento de agua para consumo humano. La ponderación del valor de importancia de las microcuencas se basó en cuatro criterios (Cuadro 3) que permiten caracterizar la gestión de los servicios ambientales en las cuencas hidrográficas (Chirinos 2002).

De acuerdo con la valoración, las microcuencas de El Cianuro y La Quebradona resultaron altamente importantes para la provisión de agua para consumo humano (Andino 2005, Andino et ál. 2006). En estas microcuencas se concentran los mayores centros urbanos (Peña Blanca y Las Vegas) demandantes del servicio; además, sus niveles de ingreso son mayores, lo que les permite pagar por el servicio de agua. En general, en ambas microcuencas

**Cuadro 2.**

Bienes y servicios ambientales identificados por los actores claves en la subcuenca de Yojoa

Función ambiental	Bien ambiental	Servicios ambientales
Provisión de agua	Cobertura vegetal-suelo	Provisión de agua para consumo humano
		Provisión de agua para irrigación – producción de energía
		Provisión de agua para uso recreativo
		Provisión de agua para cría de peces (lago)
Regulación climática	Cobertura vegetal	Mantenimiento del clima, calidad de aire (producción de oxígeno)
Prevención de disturbios	Bosque - árboles (cobertura vegetal)	Prevención de deslizamientos
Función de refugio	Ecosistemas naturales	Provisión de hábitat para diversidad biológica
Función de crianza - cultivo	Ecosistemas naturales	Mantenimiento y cultivo de especies comerciales (flora)
Producción de comida	Ecosistemas naturales	Consumo local - cacería
	Ecosistemas acuáticos	Consumo local – pesquería
Producción de materia prima	Madera	Construcción y manufactura Uso para leña
	Suelo	Fertilización agrícola
Recursos medicinales	Flora	Variedad de plantas medicinales
Recursos ornamentales	Flora	Variedad de plantas ornamentales - productos no maderables (orquídeas)
Recreación / ecoturismo	Belleza escénica Ecosistemas naturales	Variedad de paisajes con potencial ecoturístico - estudios en la naturaleza
Cultural	Variedad de sitios con valor cultural	Uso de sitios culturales para visitar
Ciencia	Variedad de sitios con valor educativo	Uso de sitios naturales par uso científico y educativo
Cultivo	Suelo, humedad, topografía, clima	Provisión de tierra para cultivos, ganadería y materia prima
Minería	Suelo, geología	Provisión de espacio para producción y extracción minera
Facilidades turísticas	Belleza escénica	Actividades turísticas en la región

Fuente: Adaptado de De Groot et ál. (2002).

se dan serios conflictos de uso del suelo; por ello, la implementación de una estrategia para garantizar el aprovisionamiento de agua para consumo humano debe considerar aspectos de ordenamiento territorial. Las microcuencas Las Balas, Horconcitos y Novillo alcanzaron valores intermedios, junto con Yure

y Varsovia; estas últimas se ubican en la zona de influencia del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar, donde la densidad poblacional es baja, así como el nivel de ingreso y los conflictos por el uso de suelo (áreas destinadas mayormente a la protección forestal) (Andino 2005, Andino et ál. 2006).

### Cuadro 3.

Escalas de ponderación categórica por criterios aplicadas a las microcuencas para el servicio de agua en la subcuenca del lago de Yojoa, Honduras

Aspectos biofísicos	RANGO	ESCALA
1) Área de la microcuenca (ha)	> 5000	Grande
	2001-4999	Mediana
	<2000	Pequeña
2) Conflictos de uso del suelo (% de sobreuso)	> 30	Alto
	11-29	Medio
	< 10	Bajo
Aspecto social		
3) Densidad poblacional por microcuenca (habitantes/km <sup>2</sup> )	>200	Alto
	101-199	Medio
	< 100	Bajo
Aspecto económico		
Ingreso <i>per capita</i> / microcuenca (Lempiras)*	> 2500	Alto
	2000—2500	Medio
	< 2000	Bajo

\*Ponderación categorizada a escala regional entre los municipios con base en datos de MARENA (2003).

#### Provisión de hábitat para la conservación de la diversidad

El mosaico del paisaje de la subcuenca del lago de Yojoa es muy complejo. Se encontraron 3056 parches distribuidos en diferentes tipos de cobertura (agricultura tradicional, tecnificada, cobertura arbórea, humedales, cuerpos de agua menores y arbustos). La fragmentación del bosque es alta así como el efecto de borde, especialmente en las coberturas adyacentes a las zonas de agricultura tradicional, zonas arbustivas y cobertura arbórea de formas irregulares. Del total de parches encontrados, 612 corresponden a cobertura arbórea y representan el 40% del área total de la subcuenca. Se identificaron diez parches de más de 300 ha con un alto valor de conservación (Correa Do Carmo 2000, basado en Laurance et ál.1997) ubicados en las microcuencas de Yure, Varsovia y Cianuro.

Es posible estimar la riqueza de especies presentes en un sitio si se utilizan índices de diversidad que consideran el patrón de abundancia relativa de las especies, y parámetros de composición para describir la comunidad (Magurra 1988). Una opción es usar un taxón bien definido y manejable; por ejemplo, todas las plantas vasculares, como sustituto de “toda la vida” o como indicador de biodiversidad (Pielou 1995). Los análisis y mediciones de biodiversidad de plantas se realizaron en los tipos de bosque identificados: pinares, bosque latifoliado y bosque mixto. Para cada tipo de bosque se utilizaron dos franjas de muestreo de 1 ha subdivididas en 10 subparcelas de medición de 0,1 ha. Las mediciones se realizaron en el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar.

**Bosque mixto.-** Se encontraron 571 individuos de 47 especies diferentes (en promedio 23,5 especies arbóreas/ha). Los helechos representan una gran mayoría de las especies encontradas; los helechos arborescentes se registraron en el 60% de las subparcelas de muestreo. Las familias más representativas fueron Cyatheaceae, Melastomataceae, Elaeocarpaceae y Leguminosae. Las especies con mayor número de individuos fueron *Cyathea* sp., *Sloanea* sp. y *Ficus* sp.

**Bosque latifoliado.-** Se encontraron 347 individuos de 42 especies (en promedio 21 especies/ha). Al igual que el bosque mixto, los helechos arborescentes (*Cyathea* sp.) son las especies más frecuentes; además, hay una menor cantidad de individuos de guarumo (*Cecropia* sp.) y algunas especies arbóreas mayores como jocomico (*Garcinia* sp.) y capulín (*Trichospermum mexicanum*). Las familias mejor representadas en este bosque, considerando el mayor número de individuos registrados, fueron: Cyatheaceae, Melastomataceae, Clusiaceae, Tiliaceae y Cecropiaceae. De las 42 especies registradas, seis especies (14%) estuvieron representadas por un individuo y cuatro especies (9%) por dos individuos.

**Pinares.-** El bosque de pino en la zona de estudio fue un rodal puro de pino ocote (*Pinus oocarpa*) de aproximadamente 25 años. Se registraron 242 individuos

El bosque latifoliado presenta valores de diversidad levemente mayores según tres índices empleados (Cuadro 4). El bosque de pino es el menos diverso debido a la existencia de una sola especie arbórea. El bosque mixto resulta ser el más rico por unidad de muestreo (acumula más especies por unidad de área), debido probablemente a la mayor densidad de especies (Pérez et ál. 2000). Sin embargo, esta diferencia desaparece al evaluar el número de individuos, por lo que el bosque latifoliado resulta ser más

diverso. El bosque latifoliado no incluye coníferas y presenta mayor diversidad florística, mientras que el bosque mixto es menos diverso que el latifoliado pero comparte varias especies con él (Fig. 2).

#### Belleza escénica para turismo

La subcuenca de Yojoa tiene relativamente buen acceso a los servicios públicos y cuenta con múltiples atractivos naturales que, en general, están siendo subutilizados. Si el potencial de actividades de esparcimiento se aprovechara plenamente, el área podría convertirse en polo de desarrollo turístico (PLANTA 2004, AMUPROLAGO 2004). Se diseñaron mini circuitos turísticos en función de las rutas más recomendables, temática de los sitios, accesibilidad y tiempo de desplazamiento terrestre o acuático. Los circuitos cuentan con suficientes elementos de distracción y esparcimiento, por lo que se estima que la duración mínima de cada recorrido es de un día.

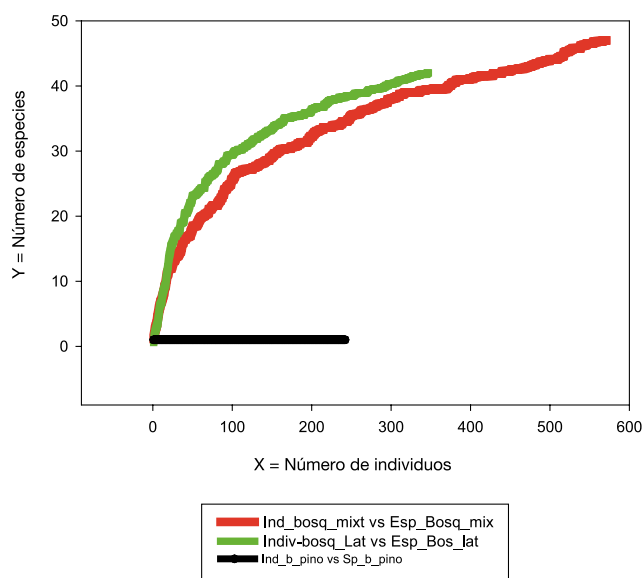
**Demanda ecoturística.-** Según datos del plan de desarrollo turístico elaborado por AMUPROLAGO (2002) y datos estadísticos del Instituto Hondureño de Turismo (IHT), anualmente la zona es visitada por unos 200.000 visitantes -el 6% del total de turistas que circulan en el país (IHT 2003). Con el muestreo realizado para las encuestas, este dato fue validado ya que el cálculo demostró un aproximado de 225.000 visitantes/año. Con los resultados de 400 encuestas turísticas aplicadas se logró actualizar el perfil del turista de la zona y se determinaron las principales preferencias turísticas.

**Perfil de visitante.-** El visitante de la zona del lago de Yojoa es mayormente de origen nacional (79%), masculino (66%), con un rango de edad de 29-39 (37%), educación universitaria (55%) y un ingreso mensual aproximado de Lps. 3000-6000 (US\$159 - \$320). En promedio, el 37% de los visitantes gastan Lps. 500 (>\$27) por visita.

**Cuadro 4.**

Índices de diversidad evaluados por tipo de bosque en el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar, subcuenca de Yojoa, Honduras (2 ha por tipo de bosque)

Bosque	No. de especies	No. Indiv.	Alpha Fisher	Alpha Fisher_sd	Simpson	Shannon
Mixto	47	571	12,38	0,99	12,2	3,01
Latifoliado	42	347	12,69	1,21	13,2	3,1
Pino	1	242	0,13	0,05	1	0



**Figura 2.** Curvas de acumulación de especies del bosque latifoliado, mixto y pino por número de individuos

#### Preferencias turísticas en el lago.-

El visitante frecuenta al menos una vez al año la zona (72%), para disfrutar del lago (62%) y de los bosques nublados (10%). El descanso es la principal motivación para visitar la zona (32%), seguido por el disfrute de balnearios (16%). El 48% de los visitantes llegan al lago de Yojoa por propia iniciativa. El principal obstáculo que existe en la zona para lograr un verdadero impulso turístico, según el 51% de los visitantes, es la poca o nula promoción turística. Entre los atractivos que el visitante quisiera encontrar y disfrutar están un parque acuático (40%), *canopy* (8%) y *rafting* (6%).

#### Oferta de servicios turísticos en la zona del lago de Yojoa.-

El inventario de atractivos naturales consideró los siguientes aspectos: 1) infraestructura adecuada para ofrecer servicio y seguridad al visitante, 2) rasgos o atributos naturales de interés, 3) que el sitio esté legalmente establecido (privado o gubernamental) 4) que un ente u organización sea responsable de la administración, 5) que haya afluencia de visitantes y tenga un sistema de cobro de entrada. Se identificaron los nueve principales atractivos turísticos de la región (Cuadro 5).

La actualización del censo de establecimientos turísticos en la sub-



cuenca (hoteles, restaurantes y centros de recreación) permitió identificar once hoteles con condiciones satisfactorias para prestar servicio, dos centros de visitantes, dos centros de recreación (balnearios) y 55 restaurantes de venta de pescado y comidas varias. La estrategia operativa ecoturística que promueve AMUPROLAGO con los circuitos turísticos es una oferta complementaria en la subcuenca. Todos los circuitos están siendo promovidos por los actores locales de manera integral, por lo que los siete circuitos tienen un valor de importancia muy alto, en relación a la diversidad de paisajes y atractivos que poseen.

*Modelo de ubicación de áreas generadoras de servicios ambientales priorizados en la subcuenca*

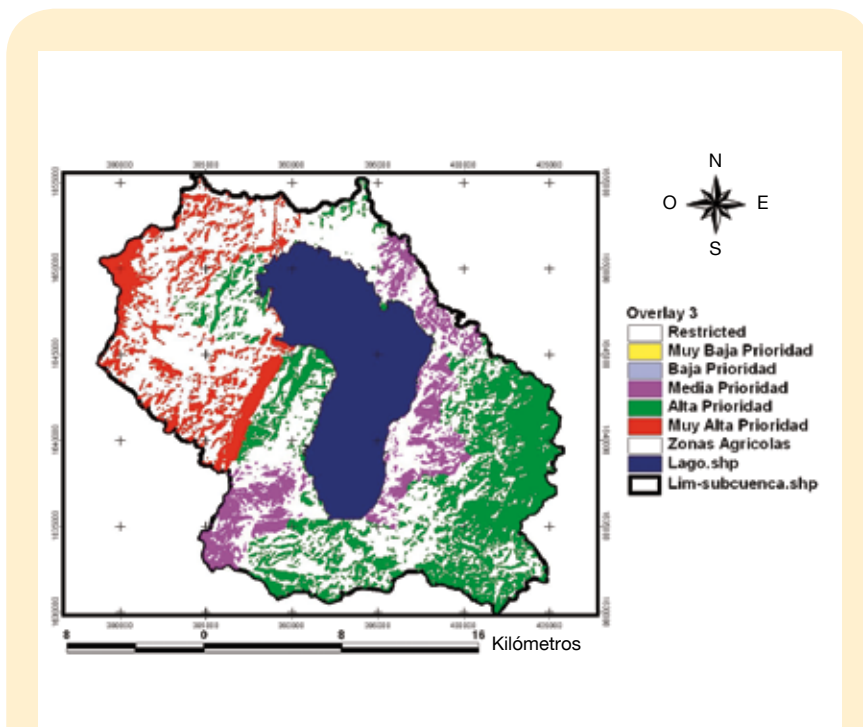
El modelo de ubicación de áreas generadoras de servicios ambientales se basó en la asignación de un valor de importancia a los tres servicios ambientales: 50% para el agua de consumo humano, 25% para la vegetación de cobertura que hace posible el hábitat de la diversidad y 25% a los circuitos turísticos que promueven la belleza escénica y visitación en la zona. El resultado del modelo de transposición con los servicios ambientales ponderados (microcuencas-agua, circuitos turísticos y cobertura arbórea) fue la generación de las zonas proveedoras de los tres servicios ambientales definidas geográficamente a escala de la subcuenca. Tal ubicación ayuda a identificar las zonas con mayor o menor prioridad para la implementación de la estrategia de servicios ambientales identificados. Un mapa con las zonas generadoras de los servicios ambientales priorizadas se ofrece en la Fig. 3.

Se identificaron traslajos y sinergias entre los tres servicios ambientales y las zonas priorizadas; así, hay zonas de media, alta y muy alta prioridad para la provisión de los tres servicios ambientales. Las zonas de muy

**Cuadro 5.**  
Principales atractivos turísticos en la subcuenca del lago de Yojoa

Atractivo natural	Descripción
Parque eco-arqueológico Los Naranjos	Sitio arqueológico de la cultura Lenca mejor conservado de la región.
Catarata de Pullapanzak	Catarata de 43 m de altura, una de las más bellas de Centroamérica. Hay vestigios arqueológicos.
Parque Nacional Cerro Azul Meámbar	El parque se ubica al este del lago; tiene un área total de 30.462 ha cubierto de bosque nublado.
Parque Nacional Montaña de Santa Bárbara	Bosque con árboles de más de 40 metros de altura en ecosistemas cársticos (caliza). Área de 12.130 ha.
Balneario y Finca Paradise	Sitio con alto valor arqueológico y ambiental; se pueden observar montículos y canchas de pelota de la cultura Lenca.
Finca Montana	Esta propiedad encierra los cráteres de mayor tamaño localizados en la cuenca del lago, los cuales son un rastro de la actividad geológica que originó al lago.
Playa Las Marías	Sitio de gran valor paisajista y de observación, situado al costado oeste del lago.
Sendero Las Orquídeas, Concepción del Sur	Permite la observación de bosque mixto, caminatas, actividades acuáticas y exploración de cuevas.
Sendero Las Palmas, Las Vegas	Permite recorrer un bosque prístino y la observación de aves. Se encuentra en la zona de influencia del Parque Nacional Santa Bárbara.

Fuente: AMUPROLAGO 2004



**Figura 3.** Zonas generadoras de servicios ambientales priorizados en la subcuenca del lago de Yojoa, Honduras  
Fuente: Andino (2005)

alta prioridad se ubican en las microcuencas del Cianuro y Quebradona, las cuales albergan la mayor concentración de asentamientos humanos y los dos mayores centros urbanos. Estas microcuencas se encuentran dentro de la zona núcleo del Parque Nacional Santa Bárbara y albergan las zonas de Piedras Amarillas y Los Manantiales, principales fuentes generadoras de agua para Las Vegas. En El Cianuro es prioritario implementar un sistema de PSA hídrico (Chirinos 2002, MARENA 2003, Reyes 2004), ya que en esta zona se presentan graves conflictos de uso del suelo. Un sistema de Pago por Servicio Ambiental (PSA) para reforestación es de importancia primordial para ayudar a la restauración ecológica de la zona.

Las zonas de alta prioridad incluyen áreas dentro de la microcuenca de Horconcitos, El Novillo, Las Balas y Varsovia; esta última abarca parte de la zona de amortiguamiento y núcleo del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar. Estas áreas no poseen asentamientos humanos considerables (la mayoría menores de 250 habitantes), pero son de gran valor desde el punto de vista de belleza escénica y es donde actualmente se desarrollan actividades ecoturísticas. La mayor concentración de parches grandes de cobertura arbórea >300 ha con alto valor para la conservación se encuentran en estas zonas, al igual que los ecosistemas únicos existentes; por ello, son necesarios incentivos para la protección forestal, y un sistema de PSA podría solventar esta necesidad.

En general, los lineamientos de planificación definidos por el programa MARENA responden acertadamente a las zonas identificadas para los tres servicios ambientales priorizados por este estudio. Las áreas de prioridad muy alta se orientan hacia lineamientos de PSA de producción hídrica y reforestación, mientras que las áreas de prioridad alta se orientan

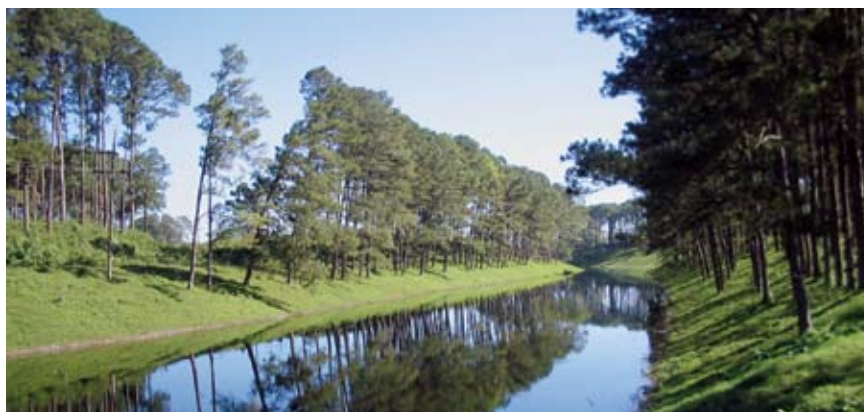


Foto: Jimmy Andino.

La subcuenca del lago de Yojoa cuenta con múltiples atractivos naturales que, en general, están siendo subutilizados

más hacia lineamientos de PSA de protección. La ubicación de las zonas de protección y restauración ecológica definidas por el plan de ordenamiento territorial de MARENA es similar a la ubicación de zonas generadoras de servicios ambientales definidos en este estudio.

### Conclusiones y recomendaciones

- Las microcuencas de mayor importancia en la provisión de agua para consumo humano (Cianuro y Quebradona) presentan altas concentraciones de población y alto conflicto de uso del suelo. Una estrategia de PSA o compensación por restauración es prioritaria en estas microcuencas.
- En varias subcuencas existen procesos en marcha para la conservación hídrica mediante compensación económica a los dueños de bosques (servidumbre ecológica). Este mecanismo es importante ya que no requiere de un fondo ambiental grande y es un acuerdo contractual directo que facilita la negociación entre usuario-oferente.
- Las microcuencas de Yure y Varsovia presentan un nivel medio de conflicto de uso del suelo y comprenden los parches boscosos grandes con alto valor para la conservación. Una estrategia de PSA ó compensación por protección resulta prioritaria en estas zonas.

- La diversidad de paisajes, los atractivos naturales y las facilidades de acceso permiten impulsar a la región de Yojoa como un polo de gran potencial turístico.
- El engranaje institucional muy variado en la subcuenca de Yojoa -con grupos claves claramente identificados- permite definir los roles de participación en la estrategia de servicios ambientales.
- La identificación de áreas prioritarias para los servicios ambientales podría orientar más eficientemente el uso de los recursos financieros y humanos.
- La conectividad, tipo de ecosistema, estructura de paisaje y endemismo podrían ser otros criterios para valorar la importancia del servicio ambiental de hábitat para la biodiversidad. 🌿

### Agradecimiento

Se agradece a las siguientes organizaciones el apoyo brindado durante ejecución de este estudio:

- Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD)
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
- Proyecto Aldea Global
- Proyecto MARENA-Honduras
- Asociación de Municipios en pro de la Conservación del Lago de Yojoa (AMUPROLAGO)
- Municipalidad de Las Vegas, Santa Bárbara

## Literatura citada

- Abraeo de O, X. 2000. Manejo de cuencas hidrográficas para la prevención de riesgos y daños ante posibles desastres ambientales en el estado de Aragua; Memoria del Taller. Maracay, VE, Fundacite Aragua/ Universidad Central de Venezuela/PALMAVEN 53 p.
- Andino, J. 2005. Planificación del manejo de los recursos naturales con base en los servicios ambientales prioritarios de la subcuenca del lago de Yojoa, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 170 p.
- Andino, J; Campos, JJ; Villalobos, R; Prins, C; Faustino, J. 2006. Los servicios ambientales desde un enfoque ecosistémico. Una propuesta metodológica rápida de los recursos naturales a escala de paisaje. Turrialba, CR, CATIE. 53 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 349).
- AMUPROLAGO (Asociación de Municipios para la Protección del lago de Yojoa y sus área de influencia). 2002. Plan de acción inmediata para el desarrollo ecoturístico de las cuencas del Lago de Yojoa y El Cajón. Siguatepeque, HN. 80 p.
- \_\_\_\_\_. 2004. Plan de acción para el desarrollo turístico de la cuenca tributaria del lago de Yojoa. Siguatepeque, HN. 9 p.
- Buarque, S. 1992. El difícil arte de hacer región: las regiones como actores territoriales del nuevo orden internacional (Conceptos problemas y métodos). Cuzco, PE, Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas. 56 p.
- Carrera, F. 1996. Guía para la planificación de las inversiones forestales en la zona de uso múltiple de la Reserva Biológica Maya de El Petén. Turrialba, CR, 40 p. CATIE. (Serie Técnica - Informe Técnico no. 275).
- Carrera, J. 2000. Evaluación de indicadores de monitoreo de concesiones forestales en Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 159 p.
- Casaza, A. 2001. Los bosque modelos, filosofía y acciones. (En línea). Santiago, CH, BM-LAC. 11 p. Consultado 20-05-2005. <http://www.mercoopsur.com.ar/forestales/notas/losbosquesmodelo.htm>
- CBD (Convention of Biological Diversity). 2002. Ecosystem Approach Background: Considerations of the Ecosystem Approach by the Conference of Parties (En línea). Consultado 14-12-2005. <http://www.biodiv.org/programmes/crosscutting/ecosystem/background.asp>
- Correa Do Carmo, A. 2000. Evaluación de un paisaje fragmentado para la conservación y recuperación de la biodiversidad en el Área Demostrativa Miraflores -Moropotente, Estelí, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 137 p.
- Chirinos, R. 2002. Metodología para la gestión de proyectos de pago por servicio ambiental hídrico en microcuencas rurales de Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 99 p.
- De Groot, RS. 1992. Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making. Groningen, NL, Wolters-Noordhoff.
- \_\_\_\_\_; De Groot, J; Van der Perk, A; Chiesura, J; Marguliev, S. 2002. Ecological functions and socio-economic values of critical natural capital as a measure for ecological integrity and environmental health. In Crabbe, P; Holland, A; Ryszkowski, L; Westra, L. (eds). Implementing ecological integrity: Restoring regional and global environmental and Human Health. London, GE, Kluwer Academic Publishers. Earth and environmental sciences no. 1. NATOT-Science Series IV. p. 191-214.
- Faustino, J. 2001. Diseño y establecimiento de entidades y organismos de cuencas: aspectos claves en el diseño y establecimiento de los organismos de cuencas. San Salvador, SV, FOCUENCAS. p. 1-8.
- Fürst, E; Moreno, M; García, D; Zamora, E. 2004. Sistematización y análisis de los aportes de los parques nacionales y reservas biológicas al desarrollo económico y social de Costa Rica: los casos del Parque Nacional Chirripó, Parque Nacional Cahuita y Parque Nacional Volcán Poás. Informe final del proyecto Interinstitucional INBio-CINPE. San José, CR, INBio. 220 p.
- García, A. 2003. Lineamientos para la planificación de un bosque modelo en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 135 p.
- Geilfus, F. 1997. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, participación, monitoreo y evaluación. San Salvador, SV, Prolachate- IICA. 208 p.
- Henao, J. 1988. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá, CO, Universidad de Santo Tomás. Centro de Enseñanza Descolarizada. 34 p.
- Ingelstam, L. 1987. La planificación del desarrollo a largo plazo: notas sobre su esencia y metodología. Revista CEPAL no.31: (LC/G/1452)
- IHT (Instituto Hondureño de Turismo). 2003. Circuitos turísticos de Honduras. Tegucigalpa, HN. 85 p.
- Jiménez, F; Faustino, J. 2000. Organismos de cuencas. Estudio de caso: diseño de un organismo de cuencas en cuatro subcuencas de El Salvador. Turrialba, CR, CATIE. 29 p.
- Lammerst van Bueren, E; Blom, R. 1997. Hierarchical framework for the formulation of sustainable forest management standards. Leoden, NL, The Tropenbos Foundation. 82 p.
- Magurra, A. 1988. Diversidad ecológica y su medición. US, Princeton University Press. 179 p.
- MARENA (Manejo de los Recursos Naturales en Cuencas Prioritarias). 2003. Análisis del contexto territorial de la subcuenca del lago de Yojoa. Sección 2. Tegucigalpa, HN. 52 p.
- Meza, R. 2004. Municipalización de las cuencas productoras de agua en San Pedro Sula, Honduras. Recursos Naturales y Ambiente (43):80-89.
- Morales, R. 2001. Planificación de cuencas hidrográficas: aspectos generales. Matagalpa, NI, UNAG. 20 p.
- Nasi, R; Wunder, S; Campos, J. 2002. Servicios de los ecosistemas forestales: ¿podrían ellos pagar para detener la deforestación? Turrialba, CR, CATIE. 41 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 331).
- OEA (Organización de Estados Americanos). 1978. Calidad ambiental y desarrollo de las cuencas hidrográficas: un modelo de planificación y análisis integrado. (En línea). Consultado 16-05-2005. <http://www.oas.org/main/main.asp?sLang=S&sLink=.../documents/spa/publications.asp>
- Otero, S. 2004. Creación y operación de un organismo de cuenca en la subcuenca del río Copán, Honduras. Recursos Naturales y Ambiente (43):72-79.
- Pérez, M; Finegan, B; Delgado, D; Louman, B. 2000. Composición y diversidad de los bosques de la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua: una base para el manejo sostenible. Revista Forestal Centroamericana no.34:66-72.
- Pielou, EC. 1995. Biodiversity *versus* old-style diversity: measuring biodiversity for conservation. In. Measuring and monitoring biodiversity in tropical and temperate forest. IUFRO symposium Proceedings (1994, Chiang Mai, Thailand). p 5-17.
- PLANTA. 2004. Formulación y armonización de la estrategia metodológica para el desarrollo del ecoturismo en Honduras. Tegucigalpa, HN, PLANTA Consultoría y Servicios. 67 p.
- Prins, C. 2004. Síntesis de los conceptos de instituciones (sociales) y (nueva) institucionalidad rural. Turrialba, CR, CATIE. 7 p.
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas; conceptos y experiencias. San José, CR, IICA. 319 p.
- Reyes, O. 2004. Valoración económica del recurso hídrico para determinar el pago por el servicio ambiental en la microcuenca de El Cianuro, Las Vegas, Santa Bárbara. Tesis Ing. Forestal. Siguatepeque, HN, ESNACIFOR. 95 p.
- Salazar, M. 2003. Evaluación de la restauración en el cantón de Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 87 p.
- Talavera, P. 2002. Valoración de productos y servicios derivados del bosque comunal de Toncontín. Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.
- Velásquez, S. 2004. Sistemas de información aplicados al manejo de recursos naturales (Guía tutorial). Model Builder Ejercicios 14-1, 14-2. Turrialba, CR, CATIE. 28 p.
- World Vision. 2004. Manual de manejo de cuencas. Modulo 1: Conceptos básicos de cuenca. San Salvador, SV, CARE/ FORGAES. p. 19-21.



# Valoración económica de la oferta del servicio ambiental hídrico en las subcuencas de los ríos Calico y Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua<sup>1</sup>

**María Eugenia Baltodano**

*Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*

*mbaltoda@catie.ac.cr; meb@cable.net.com.ni*

**Francisco Alpizar**

*CATIE. falpizar@catie.ac.cr*

Un aspecto que debe tomarse en cuenta al momento de analizar un esquema potencial de PSA, es que los problemas de infraestructura y distribución de agua tienen que tratarse junto las propuestas de protección; de lo contrario, ningún sistema de pago por el SAH será viable, aun con la disposición de la gente. Esto implica contar con la participación de la empresa local del agua desde el inicio de una acción en este sentido.

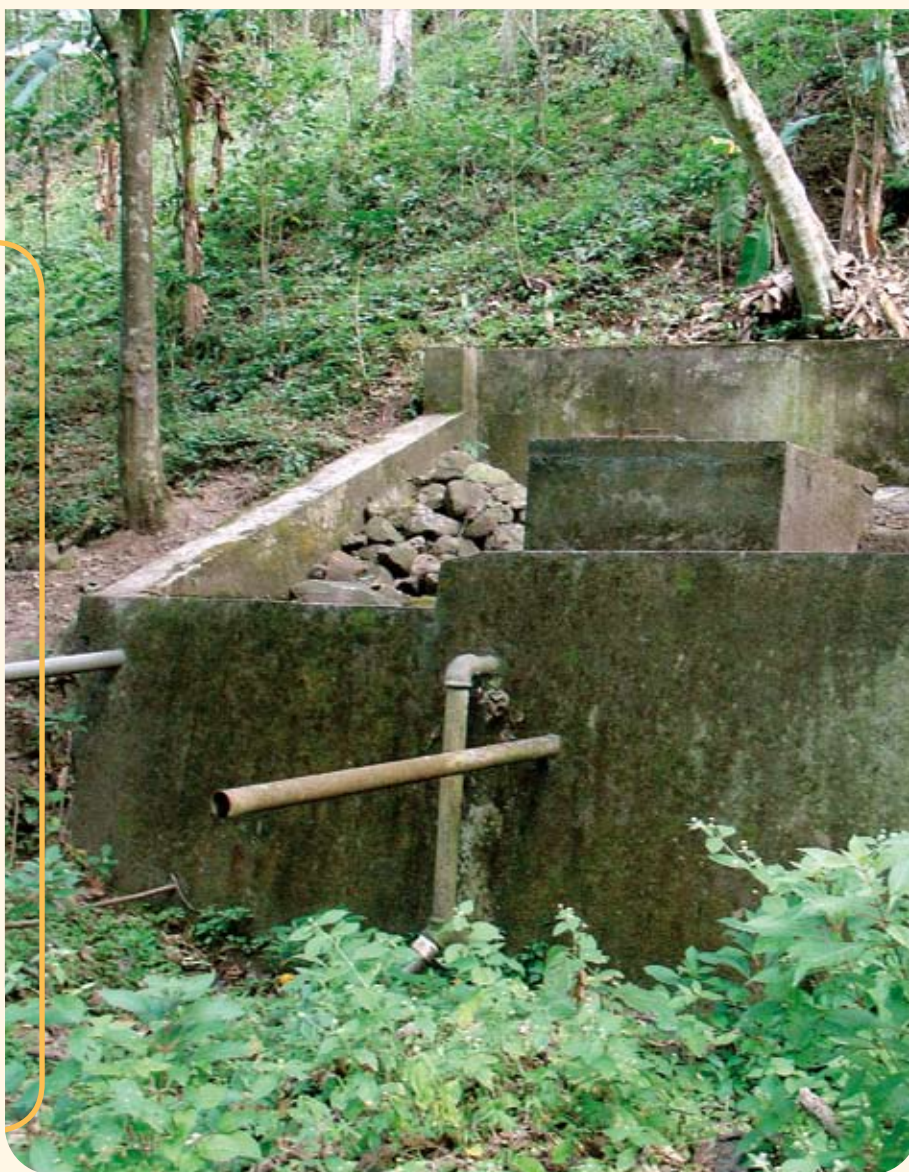


Foto: María Eugenia Baltodano.

<sup>1</sup> Basado en Baltodano, ME. 2005. Valoración económica de la oferta del servicio ambiental hídrico en las subcuencas de los ríos Calico y Jucuapa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 105 p.



## Resumen

La valoración del servicio ambiental hídrico en las subcuencas Calico y Jucuapa, Nicaragua, se realizó con el fin de determinar la viabilidad de un sistema de pago por el servicio ambiental hídrico. La valoración se hizo con base en la cuantificación de los costos de inversión y mantenimiento de tecnologías, prácticas de protección y conservación de suelo y agua y un cambio en el uso de la tierra. La metodología incluyó la selección de áreas prioritarias, georreferenciación de fuentes de agua e identificación de zonas críticas con un SIG; además, se caracterizó a los productores que viven en esas áreas. Las estimaciones económicas se hicieron para diez años en todos los casos. Se determinaron 620 ha de áreas críticas en Jucuapa y 6000 ha en Calico. Se propuso el cambio de uso de la tierra en 150 ha de Jucuapa y 300 ha en Calico. Para el resto de áreas priorizadas se valoraron las tecnologías de conservación de suelo y agua en cuatro escenarios que combinan obras físicas con coberturas vivas. Los costos de inversión inicial y mantenimiento de cada combinación son los montos de compensación propuestos para productores involucrados en la protección del recurso hídrico. Se concluyó que en la subcuenca de Jucuapa no es posible, por ahora, implementar un esquema de PSA debido a las condiciones institucionales y la poca disposición a pagar por el servicio. En la subcuenca Calico, sí es viable el esquema de pago por el servicio hídrico, ya que la escala del sitio es mayor y mayor la disposición de pago.

**Palabras claves:** Servicios ambientales; pago por servicios ambientales; recurso hídrico; valoración económica; Nicaragua.

## Summary

**Economic valuation of the hydro-environmental service offered by the Jucuapa and Calico subwatersheds, Matagalpa, Nicaragua.** Water as an environmental service provided by Calico and Jucuapa subwatersheds, Nicaragua, was assessed to determine the possibility of implementing a payment system. Costs of water, of soil conservation technologies and of land use changes in specific areas were estimated. The methodology included the selection of priority areas, geo-referred water sources and identification of critical areas by means of GIS. Producers living in priority areas were also characterized. All economic values were calculated for a ten year span. Results indicated that there were 620 critical ha in Jucuapa and 6000 ha in Calico. A land use change was proposed on 150 ha in Jucuapa and 300 ha in Calico. Water and soil conservation technologies were valued in the rest of the priority areas through the design of four different scenarios combining infrastructure and revegetation. Each scenario's initial inversion and maintenance costs determined the amount to be paid to producers for the protection of water as an environmental service. The final analysis concluded that in Jucuapa subwatershed it is not possible, by now, to implement a payment scheme for environmental services due low institutional capacity and low willingness to pay. In Calico subwatershed, the payment scheme might be viable due to the quantity of beneficiaries and improved institutional conditions.

**Keywords:** Environmental services; payment by environmental services; water resources; economic valuation; Nicaragua.

## Introducción

Por protección del servicio ambiental hídrico, se entiende el papel que algunos usos de la tierra y prácticas desempeñan en mantener o mejorar la calidad y cantidad de agua dentro de parámetros necesarios y deseados por los usuarios (Kaimowitz 2001). La valoración económica del servicio de protección del recurso hídrico se justifica por el hecho de que el agua, como tal, tiene un valor social. Sin embargo, la evaluación del valor del agua se ha limitado a la estimación de los costos de establecimiento, operación y mantenimiento de la infraestructura requerida para llevar el abastecimiento a los usuarios. Esto deja de lado las externalidades generadas por el uso del agua y los usos alternativos del recurso hídrico; además, ignora los costos relacionados con el manejo adecuado de las fuentes de agua.

Se ha investigado y publicado mucho sobre la valoración económica de bienes y servicios ambientales; desde métodos que buscan asignar un precio, ya sea con base en lo que la gente está dispuesta a pagar, o en el precio de recursos relacionados que ya se comercializan, hasta los costos asociados con la provisión del servicio, o pérdidas de producción por no conservarlo (costos de oportunidad o cambios en la productividad).

En zonas donde el balance hídrico se caracteriza por fuertes periodos de escasez, y donde la actividad económica principal es la agricultura basada en prácticas de uso intensivo de la tierra, es fácil suponer que la disponibilidad de agua es y será un problema principal en la vida de los proveedores y usuarios del recurso. En estos casos, es importante contar con una estimación de los costos y beneficios asociados a un buen manejo de las fuentes de agua y zonas prioritarias para la protección del recurso.



Foto: María Eugenia Baltodano.

Ningún programa de protección del recurso hídrico tendría éxito si la infraestructura que hace llegar el agua a los usuarios está deteriorada o inservible.

En el año 2005, se realizó en las subcuencas de los ríos Calico y Jucuapa<sup>2</sup>, ubicadas en la región central de Nicaragua, un estudio de valoración económica de la oferta del servicio ambiental hídrico. Ambas subcuencas son zonas montañosas, con productores en laderas que basan su economía principalmente en la agricultura y la ganadería. La provisión de agua se realiza a través de tuberías en la mayor parte del territorio, pero las fuentes naturales que las abastecen están perdiendo gradualmente el agua. En algunas partes, el suministro de agua durante la época seca es restringido. En estas zonas ya existen organismos comunitarios de gestión y administración del agua, llamados comités de agua potable (CAP), integrados por miembros voluntarios de cada comunidad. Sin embargo, los CAP no han logrado asumir el liderazgo en la gestión del agua, por falta de seguimiento y capacitación en sus funciones, entre otras razones.

En este contexto, los principales factores que motivaron este estudio fueron:

- La escasez de agua en ambas zonas es un problema sensible que podría motivar a la población a dar un valor prioritario a este recurso.
- No hay incentivos a los proveedores para que adopten prácticas sostenibles para la protección del servicio ambiental hídrico. Esto induce a proponer un sistema de protección no solo de las fuentes de agua sino del suelo, ya que la protección del recurso hídrico tiene que “convivir” con los usos del suelo y, por ende, con las prácticas agrícolas.
- En el área rural de Calico y en la mayor parte de Jucuapa, el agua no se paga; este pudiera ser un factor incidente en la no protección de las fuentes.

El objetivo principal del estudio fue valorar económicamente los costos de protección del recurso hídrico, con el fin de incrementar la ofer-

<sup>2</sup> Calico es sitio de investigación del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Jucuapa ha sido sitio de investigación del proyecto Focuecenas del CATIE.

ta de servicios ambientales y evaluar la creación de un esquema de pago por el servicio ambiental hídrico.

### Metodología

La metodología utilizada se basó en la consideración de las condiciones, los actores y el tipo de actividades económicas que se realizan en ambos sitios. La propuesta debía tomar en cuenta la evaluación de los costos de protección del recurso, los costos de producción agrícola y los costos de oportunidad de la tierra. Un mecanismo de pago por servicios ambientales entra en la categoría de instrumentos basados en el mercado, en el sentido de que intenta inclinar las decisiones del dueño de la tierra hacia prácticas que mantengan o incrementen la provisión de servicios ambientales, y evitar que se implementen prácticas no sostenibles o degradantes. El problema es que, hasta ahora, el total de los costos de las prácticas sostenibles son asumidos por los dueños de la tierra, y perciben únicamente parte de los beneficios sociales. Esta condición hace que los dueños de la tierra adopten muy pocas prácticas sostenibles, comparadas con el óptimo social (Campos et ál. 2005, Alpízar y Madrigal 2004, Nasi et ál. 2002, Pagiola et ál. 2002).

En teoría, la valoración de servicios ambientales que buscan establecer un esquema de pago para el servicio ambiental hídrico debe partir de una función de dosis/respuesta, que relacione el uso y manejo de la tierra con la provisión de servicios ambientales. Dada la complejidad de los ecosistemas, es probable que nunca se logre recopilar la cantidad de información suficiente para establecer esta relación. Sin embargo, nuestra propuesta actúa bajo un enfoque precautorio y la perspectiva de que la implementación de prácticas sostenibles podría potencialmente contribuir a incrementar la provisión del servicio ambiental, aun si la función dosis/respuesta no está claramente establecida (Alpízar y Madrigal 2004).

En relación con las características de los sitios, ambas zonas son muy similares en cuanto a condiciones agroecológicas y biofísicas. Las diferencias están en el tamaño del territorio: Jucuapa 40 km<sup>2</sup> y Calico 170 km<sup>2</sup>, y en la población: Calico 21.000 habitantes y Jucuapa 3705 habitantes.

El proceso metodológico constó de los pasos siguientes:

1. Diagnóstico de campo para caracterizar el contexto:
  - a) Recopilación de información relevante en ambos sitios (socioeconómica y biofísica)
  - b) Selección y jerarquización de áreas críticas e importantes en la provisión de agua
  - c) Caracterización de productores ubicados en estas áreas y potenciales proveedores del servicio ambiental hídrico (SAH)
2. Análisis económico del costo de cambio en prácticas y usos de la tierra; se usaron métodos de cambios en productividad y costos de oportunidad.
3. Determinación del tamaño requerido del fondo de compensación a productores involucrados directamente en la protección del recurso hídrico.
4. Diseño y validación de propuestas de compensación, como un pago por SAH.

La jerarquización de áreas, como uno de los productos intermedios importantes del estudio, se realizó sobre el razonamiento de que la provisión de servicios hídricos -basada en la relación con el uso de la tierra- tiene sitio y usuarios específicos. La jerarquización de áreas de intervención ayuda a definir una intervención apropiada. Este proceso implicó lo siguiente:

- Georreferenciación y caracterización del contexto biofísico de las fuentes de agua (río principal, pozos construidos y naturales y proyectos de agua por tubería, llamados miniacueductos).
- Selección de áreas utilizando un sistema de información geográfica,

con base en criterios de pendiente y cobertura vegetal/boscosa para generar un mapa de áreas críticas de producción y protección de agua en ambos sitios.

- Selección de fuentes de agua en estado crítico o de importancia por la cantidad de beneficiarios que abastecen, ya sean familias o comunidades.
- Selección final de áreas tomando en cuenta los dos pasos anteriores; es decir, sobreponiendo las fuentes de agua sobre las áreas críticas según sus características biofísicas para respaldar la jerarquización según importancia en la provisión del recurso hídrico.

La caracterización de productores que habitan cerca de las fuentes de agua se hizo con el fin de conocer las condiciones socioeconómicas -principalmente el uso de la tierra cerca de las fuentes- de los posibles proveedores del SAH; ya que habría que negociar con ellos en el caso de implementar un pago por el servicio ambiental hídrico. Se diseñó una entrevista con formato semiestructurado que se aplicó a dueños de propiedades en las áreas seleccionadas en la jerarquización.

En el proceso de valoración económica se diseñaron dos propuestas que implican, por un lado, un cambio de uso de la tierra en las áreas críticas cercanas a los ríos principales y, por el otro, la implementación de tecnologías de protección del suelo y agua en el resto de las áreas seleccionadas. Los pasos se describen a continuación:

- a) Selección de tecnologías de protección de suelo y agua y áreas para cambio de uso de la tierra, a través de una consulta con expertos y pobladores de las zonas.
- b) Valoración individual de los costos de inversión inicial y mantenimiento de las tecnologías de protección de agua y suelo.
- c) Valoración del cambio de uso de la tierra, calculando los siguientes parámetros:

- el costo de inversión y mantenimiento para tres escenarios: plantación forestal en el área total de cambio; 50% plantación forestal y 50% regeneración natural, y regeneración natural en el total del área de cambio.
- el costo de oportunidad de la producción en el área propuesta para el cambio, usando los datos de rentabilidad del sistema maíz - frijol, principales cultivos en ambos sitios.
- el costo de oportunidad del trabajo del productor al dejar de trabajar en el área para hacerlo bajo otra modalidad; para este cálculo se usó el precio de la jornada laboral en las zonas.

El cambio de uso de la tierra se calculó y se propuso para 300 ha en Calico y 150 ha en Jucuapa, alrededor de los ríos principales.

- d) Valoración de los costos de las técnicas de protección combinadas en cuatro escenarios, obras físicas y coberturas vivas para una parte de las áreas priorizadas.
- e) Proyección de costos de ambas propuestas a diez años, con el fin de distribuirlos a largo plazo; conociendo los montos máximos por año, planear una estrategia de implementación más viable desde el punto de vista económico.

### Resultados y discusión

En el proceso de jerarquización de áreas, la georreferencia y la caracterización de fuentes permitieron conocer el contexto biofísico (coberturas, vulnerabilidad, número de beneficiarios) y clasificar las áreas para poder jerarquizarlas (Cuadro 1). En Jucuapa, la caracterización de las fuentes mostró que la mayoría son pozos naturales u ojos de agua con cierta protección<sup>3</sup>, a pesar de que hay cultivos en las cercanías. En Calico, la mayoría son también pozos naturales con protección escasa o abundante.

### Jerarquización de áreas

La subcuenca del río Calico cubre 17000 ha, y 4000 ha la de Jucuapa. Según los criterios definidos para el estudio, en ambas subcuencas hay 6000 ha (35%) y 620 ha (15%) de áreas críticas, respectivamente. Como ejemplo, en el mapa de Calico se observa que las áreas críticas se distribuyen en toda la subcuenca, pero tienen mayor concentración en la parte alta (comunidad de El Zapote y zonas aledañas) y en la parte baja (comunidades de Ocote Arriba y Ocote Abajo) (Fig.1). Para la generación de este mapa se combinaron datos de uso de la tierra y pendientes a partir de tres categorías de áreas: críticas, estables y moderadas. La combinación de pendientes mayores al 30% sin cobertura

de ningún tipo resulta en un área crítica; igual resultado da la misma pendiente combinada con presencia de cultivos agrícolas sin manejo adecuado. La categoría de áreas estables es la combinación de bosques con pendiente de hasta 30%; en las áreas moderadas se combinan este mismo tipo de pendientes con vegetación permanente (que puede ser arbustos o café).

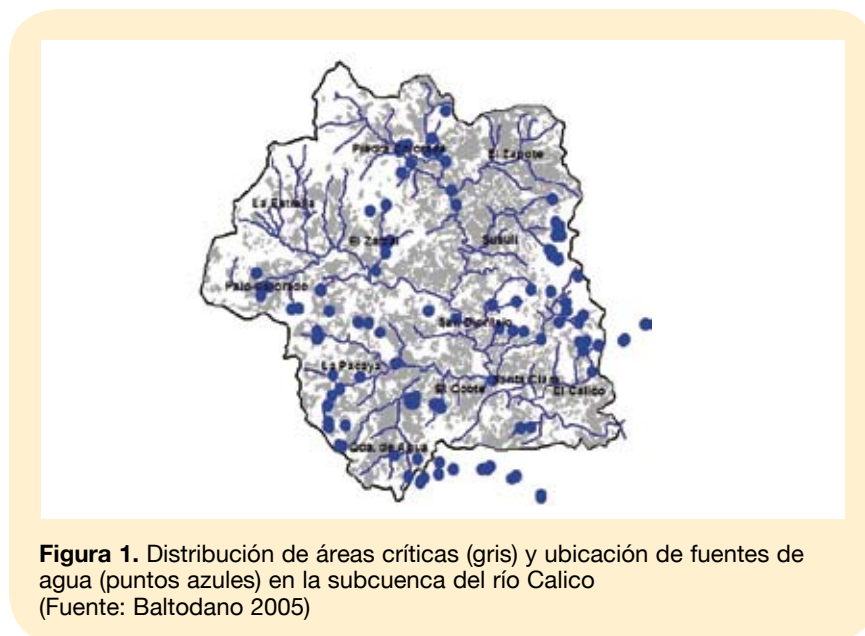
### Valoración económica de las propuestas de protección

En la propuesta del cambio de uso de la tierra se tomó en consideración que es poco probable que los productores dejen de cultivar para dejar su tierra bajo protección absoluta. Por esta razón, el cambio de uso del suelo se limitó a 150 ha en la

**Cuadro 1.**

Fuentes de agua prioritarias y proveedores

Subcuenca	No. fuentes georreferenciadas	No. fuentes priorizadas	No. proveedores de SAH priorizados
Calico	106	11	23
Jucuapa	24	7	17



**Figura 1.** Distribución de áreas críticas (gris) y ubicación de fuentes de agua (puntos azules) en la subcuenca del río Calico (Fuente: Baltodano 2005)

<sup>3</sup> Se entiende como protección, la presencia de árboles y/o vegetación cerca de la fuente.



subcuenca del río Jucuapa y 300 ha en la subcuenca del río Calico. Los costos mínimos estimados fueron de US\$12.173 en Jucuapa y US\$16.110 en Calico. Para el resto de las áreas priorizadas, se calcularon los costos de implementación de tecnologías de conservación de suelos y agua (US\$6.974). Los montos se estimaron a diez años, trabajando 15 ha/año en Jucuapa y 30 ha/año en Calico. Los componentes del monto anual son la inversión inicial de 15 ha nuevas más el costo de mantenimiento y el pago del costo de oportunidad de la producción de las hectáreas acumuladas en años anteriores al año corriente.

En el Cuadro 2 se muestra un ejemplo de los montos calculados a

diez años para el cambio de uso de la tierra con la opción 50% de reforestación y 50% bajo regeneración natural<sup>4</sup>. Los costos por hectárea por año para cada escenario corresponden a los costos totales en insumos y mano de obra necesarios, tanto para la plantación en reforestación como para mantener la regeneración natural en una hectárea. Asimismo, estos constituyen los montos de compensación que habría que pagarle al productor anualmente para mantener este uso de la tierra.

Los montos anuales de cambio de uso de la tierra incluyen el costo de oportunidad de la producción; es decir, la compensación al productor por lo que deja de percibir por no producir (sistema maíz y frijol) en

la tierra que se deja bajo protección. Como se ve, este factor eleva los montos, pero desde el punto de vista económico, es la única manera de hacer sostenible un programa de este tipo. El monto del año 11 representa el costo anual que tendría el mantenimiento de las prácticas y cambio de uso de la tierra, una vez terminada la inversión en el área seleccionada en cada subcuenca.

En cuanto a la propuesta de implementación de tecnologías de conservación de suelos y agua, en el Cuadro 3 se presenta un ejemplo de valoración para la opción cobertura vegetal/acequia/barrera viva de gandul<sup>5</sup>. La lógica de valoración es la misma que para el cambio de uso de la tierra. Este ejemplo corresponde a

**Cuadro 2.** Costos anuales (US\$) del cambio de uso de la tierra a 50% forestal y 50% regeneración natural, subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua

Actividad	No. ha a intervenir por año	Costos/ha/año más 1	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	t=8	t=9	t=10	t=11+
Reforestación	7,5	378											
		239	2835	4628	6420	8213	10005	11798	13590	15383	17175	18968	17925
Regeneración natural	7,5	366											
		219	2745	4388	6030	7673	9315	10958	12600	14243	15885	17528	16425
Total reforestación + regeneración natural (costo anual)			5580	9015	12450	15885	19320	22755	26190	29625	33060	36495	34450

**Cuadro 3.** Estimación de costos (US\$) para implementación de tecnologías de conservación de suelos y agua, subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua

Tecnología	(A) % Ha	(B) Inversión inicial	(A)* (B)	(C) Mantenimiento	(C)* (A)									
Cobertura vegetal	100	34	34	12	12									
Acequia	50	58	29	5	3									
Barrera viva gandul	50	29	15	2.5	1									
Total/ha			78		16									
No. ha a intervenir	No. ha a intervenir/año	costos/ha/año más 1	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	t=8	t=9	t=10	t=11	
470	47	78	3643	4383	5123	5863	6604	7344	8084	8824	9565	10305	7403	

<sup>4</sup> Además de este, para los cálculos económicos se trabajaron dos escenarios más; uno con el 100% de reforestación y otro con el 100% de regeneración natural.

<sup>5</sup> Los cálculos se trabajaron para cuatro combinaciones en total, incluyendo el mismo principio de implementar coberturas vivas con obras físicas.

Jucuapa, donde los cálculos se basaron en las 470 ha de áreas críticas que no forman parte de la propuesta de cambio de uso de la tierra; se propone ejecutar 47 ha por año hasta completar las 470 al año diez. La proyección de costos a diez años permitió proponer una estrategia de implementación más realista, tomando en cuenta tanto la disponibilidad de fondos como de los productores para participar en el programa.

### Costos de mantenimiento de infraestructura de captación y distribución de agua

El costo de mantenimiento de los proyectos de distribución de agua en las zonas es un aspecto clave a considerar en la implementación de un pago por servicio ambiental, ya que ningún programa de protección del recurso hídrico tendría éxito si la infraestructura que hace llegar el agua a los usuarios está deteriorada o inservible. En el caso de Jucuapa y Calico, casi todos los proyectos de agua por tubería, o miniacueductos, están deteriorados. Los CAP respectivos son los responsables del mantenimiento; para ello los usuarios deben pagar una cuota mensual. Sin embargo, actualmente solo una parte de las comunidades hace un pago anual de sesenta córdobas (US\$3,44), lo cual está por debajo de los costos reales de mantenimiento de los proyectos.

En Jucuapa, por ejemplo, la empresa local del agua es quien establece las tarifas del servicio con base en los costos de mantenimiento anual de pozos y miniacueductos. Según sus cálculos, mensualmente se dejan de recaudar US\$455,84, y si a esto agregamos que hay comunidades que no pagan nada, el déficit es realmente preocupante. Esta situación evidencia la necesidad de incluir a la empresa local del agua desde el inicio de la planeación de una estrategia de protección al servicio ambiental hídrico.



Foto: María Eugenia Ballodano.

El modelo de valoración económica permite establecer los costos y posteriormente proponer una estrategia de implementación de las alternativas de protección del suelo y fuentes de agua

### Conclusiones

En cuanto a la metodología:

- La metodología utilizada permitió obtener productos importantes, como la identificación de áreas críticas y prioritarias en los dos sitios del estudio. Este resultado es muy útil, no solo para el SAH, sino para tomar decisiones en otros aspectos del manejo de los recursos naturales y los servicios ambientales.
- El modelo de valoración económica permite establecer los costos y posteriormente proponer una estrategia de implementación de las alternativas de protección del suelo y fuentes de agua. Este modelo se basó en las condiciones de los sitios y permitió diseñar una opción más realista sobre la posibilidad de financiamiento y apoyo institucional a las propuestas.
- La valoración económica incluyó el costo de oportunidad de la producción en la propuesta para cambio de uso de la tierra.

Este concepto no ha sido tomado en cuenta en otros estudios de valoración para implementar esquemas de pago por servicios ambientales. Sin embargo, se considera que la propuesta sería poco sostenible si este valor no se incluyera, pues la producción agrícola es la principal actividad económica en la zona.

En cuanto a los resultados:

- Debido al alto nivel de pobreza de los beneficiarios potenciales en ambas zonas, se determinó que los beneficios de uso directo generados por la protección del recurso hídrico eran menores que los costos. Sin embargo, dado que no se tiene información del valor total del recurso (valor de uso directo y valor de no uso), se asumió que con las condiciones actuales de degradación y pobreza, es conveniente mantener el proyecto de protección, lo que implica aceptar que los beneficios indirectos y de no uso son suficientes para justificarlo.

- Las propuestas fueron validadas en la zona. En ambos sitios, los productores están dispuestos a participar siempre y cuando sean compensados. Sin embargo, en la subcuenca del río Jucuapa las condiciones institucionales y la capacidad de pago no permiten, por el momento, respaldar un esquema de este tipo. Se propuso la compensación a productores que implementen las prácticas de protección, siempre y cuando se cuente con fuentes externas de financiamiento.
- La valoración económica mostró que las prácticas de protección -es decir, la oferta del SAH- tienen costos elevados, por lo que es necesaria una estrategia de largo plazo con la participación de instituciones, proveedores y usuarios del agua y que incluya el fortalecimiento de la gestión local y la institucionalidad.
- En la subcuenca del río Calico hay mayor cantidad de beneficiarios y las condiciones institucionales son más favorables; además, ya se

El costo de mantenimiento de los proyectos de distribución de agua en las zonas es un aspecto clave a considerar en la implementación de un pago por servicio ambiental, ya que ningún programa de protección del recurso hídrico tendría éxito si la infraestructura que hace llegar el agua a los usuarios está deteriorada o inservible.

cuenta con un estudio de disposición a pagar por el agua. Hay, entonces, buenas posibilidades de implementar un esquema de pago por SAH.

- Un aspecto adicional que debe tomarse en cuenta al momento de analizar un esquema potencial de PSA, es que los problemas de infraestructura y distribución de agua tienen que tratarse junto las propuestas de protección; de lo contrario, ningún sistema de pago por el SAH será viable, aun con la disposición de la gente. Esto implica contar con la participación de la empresa local del agua desde el inicio de una acción en este sentido.
- Cualquier tipo de plan que se decida implementar debería ir acompañado de un sistema de monitoreo y seguimiento eficiente que permita prevenir errores y aprovechar las lecciones aprendidas en el proceso, tanto desde el punto de vista metodológico como de resultados. 🌱

## Literatura citada

- Alpizar, F; Madrigal, R. 2004. Propuesta de una metodología estandarizada para el diseño e implementación de un esquema de pago por servicios ambientales a nivel local; el caso del servicio de protección del recurso hídrico. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 29 p. (Documento interno)
- Baltodano, ME. 2005. Valoración económica de la oferta del servicio ambiental hídrico en las subcuencas de los ríos Calico y Jucuapa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 105 p.
- Campos, JJ; Alpizar, F; Louman, B; Parrotta, J. 2005. An integrated approach to forest ecosystem services. In Mery, G; Alfaro, R; Kanninen, M; Lobovikov, M. (Eds.) Forests in the global balance - changing paradigms. Helsinki, FI, IUFRO World Series Volume 17. p. 97-116.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2004. Innovación, aprendizaje y comunicación para la cogestión adaptativa de cuencas. Propuesta para una segunda fase. Turrialba, CR, Focuecas II. 76 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2001. Línea Base del sitio de referencia, subcuenca río Calico, San Dionisio, Matagalpa, Nicaragua. Managua, NI, Proyecto Comunidades y Cuencas. 41 p.
- Kaimowitz, D. 2001. Pago por servicios ambientales hidrológicos: retos y oportunidades. Memoria II Foro Regional de Pago por Servicios Ambientales [Montelimarr, 25-27 de abril, 2001]. Managua, Nicaragua, PASOLAC. p. 75-81.
- Morales, J. 2003. Caracterización de la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Nicaragua. 58 p.
- Nasi, R; Wunder, S; Campos A, JJ. 2002. Servicios de los ecosistemas forestales ¿Podrían ellos pagar para detener la deforestación? Turrialba, CR, CATIE. 37 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 331. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales no. 28).
- Pagiola, S; Landell-Mills, N; Bishop, J. 2002. Market-Based Mechanisms for Forest Conservation and Development. In Pagiola, S; Landell- Mills, N; Bishop, J. Selling Forest Environmental Services. London, UK, Earthscan.
- PASOLAC (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central, NI). 1999. Guía técnica de conservación de suelos y agua. San Salvador, SV, PASOLAC.



# Manejo del recurso hídrico y vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní en la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay<sup>1</sup>

**Rafaela M. Laino**

*rlaino@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez**

*fjimene@catie.ac.cr*

**Gilberto Páez**

*gpaez@catie.ac.cr*

**Fernando Casanoves**

*casanove@catie.ac.cr*

**Sergio Velásquez**

*svelasqu@catie.ac.cr*

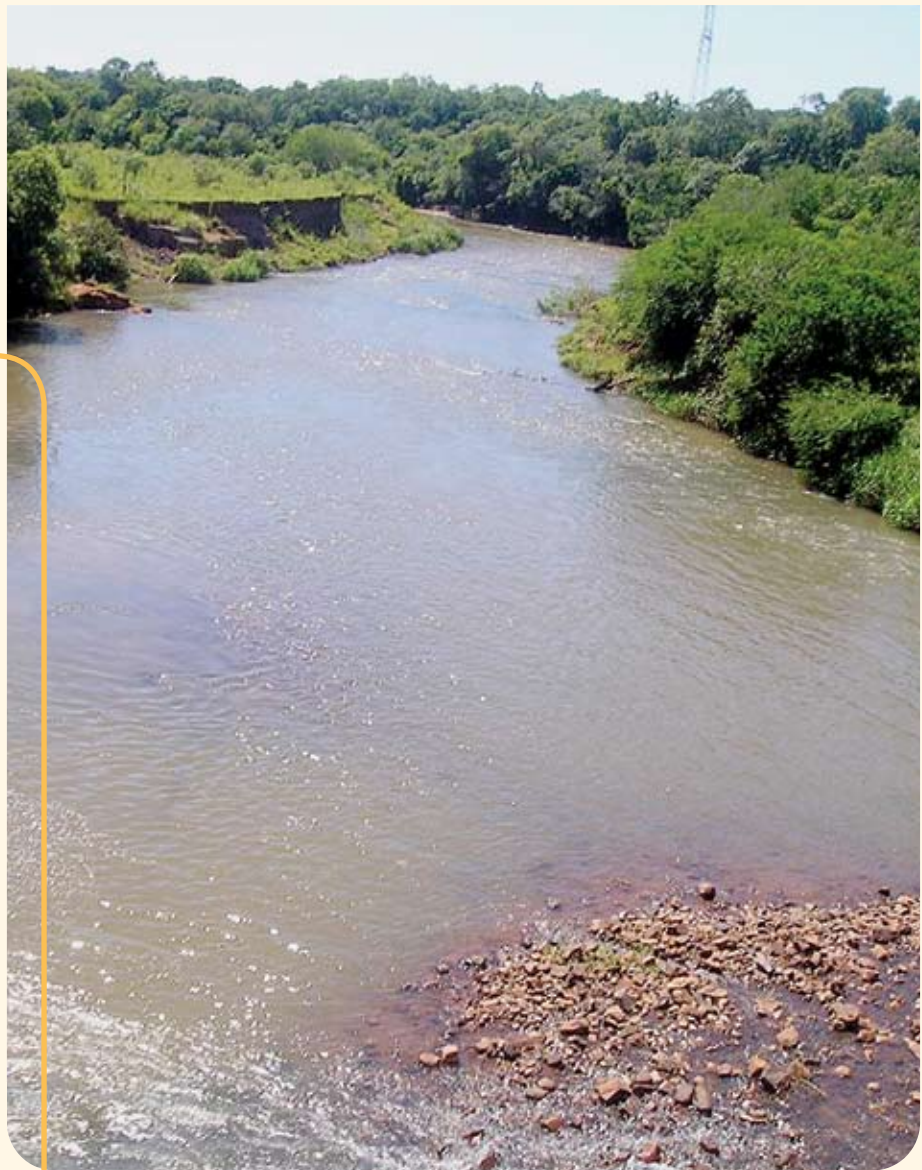


Foto: Rafaela M. Laino.

El elemento más importante para definir la cuenca como unidad de planificación y de gestión es que la misma constituye un sistema donde el elemento integrador es el agua. La cuenca constituye un sistema conformado por las interrelaciones de diferentes subsistemas, tales como lo social, económico, político, institucional, cultural, legal, tecnológico, productivo, físico y biológico. Por lo tanto, este enfoque haría posible una gestión integral del manejo hídrico en la cuenca del arroyo Capiibary que garantice la producción en forma armónica con la conservación del ambiente.

<sup>1</sup> Basado en Laino Guanes, RM. 2005. Manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary: implicaciones para la gestión ambiental del acuífero Guaraní. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 104 p.



## Resumen

Este trabajo analiza el manejo del recurso hídrico y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní en la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay. Entre los principales problemas relacionados con el manejo del recurso hídrico en la cuenca se destacan la deforestación masiva por la expansión de la frontera agrícola, el uso excesivo y sin control de productos químicos en el manejo de los cultivos (principalmente la soya) y la pérdida de vegetación ribereña.

Entre las acciones prioritarias para el manejo sustentable del recurso hídrico se propone la creación de un organismo de cuenca conformado por representantes de todos los distritos asentados en la cuenca, el cual gestione el manejo y la conservación del agua utilizando a la cuenca como unidad de planificación. Como acción correctiva se propone el cobro de multas por contaminación del agua y degradación de los recursos naturales. El reto principal es buscar un equilibrio entre la producción y la conservación de los recursos naturales.

Si bien la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es media o baja, es indispensable tomar medidas preventivas que protejan esta gran riqueza almacenada en el subsuelo porque, aunque las aguas subterráneas no se contaminan fácilmente, cuando la contaminación se produce es muy difícil y costoso revertir la situación.

**Palabras claves:** Recurso hídrico; aguas subterráneas; polución del agua; polución de aguas subterráneas; capa freática; vulnerabilidad; degradación ambiental; Paraguay.

## Summary

**Water management and vulnerability to pollution of the Guaraní aquifer in Arroyo Capiibary watershed, Paraguay.** This paper discusses water management and vulnerability to pollution to the Guaraní aquifer in Arroyo Capiibary watershed, Paraguay. Among the main problems related to water management in the watershed are: massive deforestation due to agriculture frontier expansion, excessive and uncontrolled use of chemicals for crop growing, and loss of riparian vegetation. The creation of a watershed bureau is proposed. It would be made up of representatives from all the settlements in the watershed. This bureau would be in charge of the sustainable management and conservation of water. Fines for polluting water and destructing natural resources would also be implemented. The challenge is to obtain a balance between production and natural resource conservation. Underground waters are not easily polluted, but once they get contaminated it is almost impossible to clean them back. So, even if vulnerability to contamination is low or mid in the watershed, it is essential to implement preventive measures to protect the aquifer.

**Keywords:** Water resources; groundwater; water pollution; groundwater pollution; groundwater table; vulnerability; environmental degradation; Paraguay.

## Introducción

El acuífero Guaraní es una de las reservas subterráneas de agua dulce más grandes e importantes del planeta. Está localizado en el centro-este de América del Sur entre 12° - 35° Sur y 47° - 65° Oeste. Tiene una extensión aproximada de 1.200.000 km<sup>2</sup>, de los cuales 840.000 km<sup>2</sup> se encuentra en Brasil,

225.500 km<sup>2</sup> en Argentina, 71.700 km<sup>2</sup> en Paraguay y 58.500 km<sup>2</sup> en Uruguay. Se estima que contiene una reserva de 50.000 km<sup>3</sup> de agua, volumen suficiente para abastecer a la población mundial actual (cerca de 6.000 millones) durante 200 años, a una tasa de 100 litros/día por habitante (PADS-SAG 2004).

El riesgo principal para el futuro de este cuerpo de agua lo constituyen la contaminación sin control en sus áreas de recarga y la extracción de agua con escasa regulación. Las áreas de mayor recarga son las más importantes de conservar; allí, hay que prestar especial atención a las características físicas de permeabi-

lidad que afectan la magnitud de la recarga y a las actividades antrópicas que producen contaminantes que pudieran infiltrarse al acuífero Guaraní, aproximadamente el 35% corresponde a zona de recarga directa o afloramiento. A pesar de la importancia de este acuífero para el abastecimiento de agua potable actual y futura, las condiciones hidrogeológicas del sistema, recarga, descarga y dinámica del flujo son hasta ahora casi desconocidas. Esto hace prácticamente imposible determinar sus reservas y permitir una gestión racional del recurso (PADS-SAG 2004).

En Paraguay, el acuífero está ubicado al este de la región Oriental, formando una faja que se extiende de norte a sur a lo largo del río Paraná, el cual constituye el límite oriental del país con Argentina. El 80% del abastecimiento de agua potable en el Paraguay proviene de las aguas subterráneas; de ahí la importancia de este recurso para el desarrollo socioeconómico. El 36% de la población del país habita sobre el acuífero Guaraní y es abastecida por sus aguas. La cuenca del arroyo Capiibary se encuentra en una de las zonas de recarga del acuífero en la región Oriental. Esta cuenca es una posible fuente de contaminación, ya que allí habitan numerosas familias que realizan actividades productivas que ponen en riesgo el mantenimiento de la potabilidad y calidad del agua del acuífero.

El objetivo del estudio fue analizar el manejo del recurso hídrico en la cuenca del arroyo Capiibary y estimar la vulnerabilidad de contaminación del acuífero, a fin de sustentar técnicamente el diseño de estrategias que orienten la toma de decisiones, la planificación e implementación de acciones que reduzcan el riesgo de contaminación.

## Metodología

### Ubicación

La cuenca del arroyo Capiibary se ubica en el departamento de Itapúa, región Oriental del Paraguay (Fig. 1), y cubre parte de diez distritos del departamento: Alto Verá, Pirapó, Obligado, Bella Vista, Hohenau, Jesús, La Paz, Trinidad, Capitán Miranda y una muy pequeña parte de Nueva Alborada. La superficie de la cuenca es de 96.854 ha, en el borde occidental del gran Sistema Acuífero Guaraní. El arroyo Capiibary desemboca en el río Paraná.

El área de la cuenca es una de las de mayor precipitación pluvial del país (>1900 mm anuales). Dentro de la cuenca se localizan áreas de recarga y de descarga del acuífero. El área de recarga está determinada principalmente por la arenisca y el de descarga por los campos bajos inundables en la desembocadura de la cuenca.

### Análisis del manejo del recurso hídrico

El análisis del manejo del recurso se realizó en cuatro etapas:

1. Recolección de información de fuentes secundarias sobre el marco legal e institucional que incide en el área, estudios hidrogeológicos

realizados en la cuenca y datos de estadísticas y censos a nivel nacional, departamental y distrital.

2. Visitas y entrevistas a funcionarios de instituciones y encuestas a productores asentados en la cuenca. Se realizaron 120 encuestas mediante un muestreo estratificado con asignación proporcional a un índice que resultó del producto del área de cada localidad por el número de viviendas (según datos del último Censo Nacional 2002, realizado por la Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos). En cada estrato se realizó un muestreo aleatorio simple de viviendas.
3. Organización y facilitación de talleres donde participaron pobladores de toda el área de la cuenca. Se organizaron tres talleres participativos con el apoyo de instituciones del sector público y privado. Además, se incluyeron dos actividades organizadas por otras instituciones donde se trató la misma problemática de interés para la investigación. En las encuestas realizadas también se incorporaron preguntas claves para complementar con los resultados de estos talleres. La información de las diferentes fuentes,

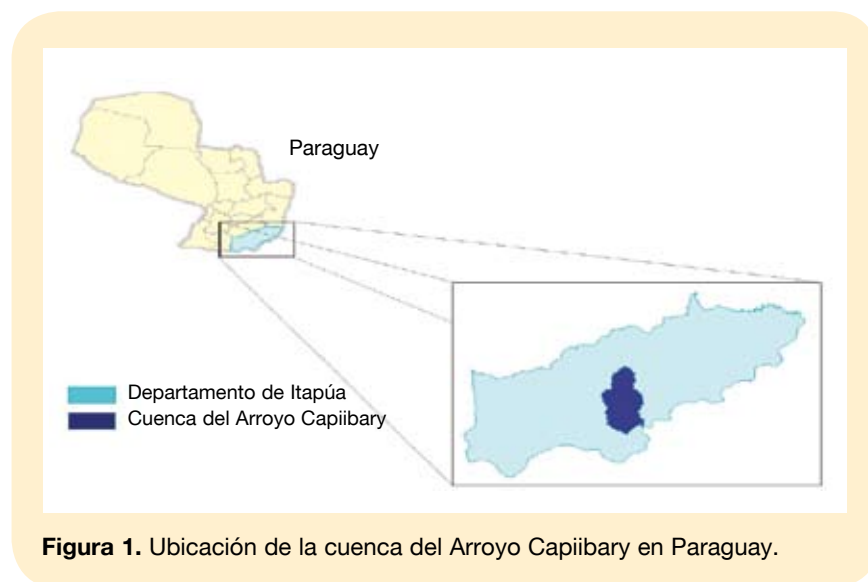


Figura 1. Ubicación de la cuenca del Arroyo Capiibary en Paraguay.

obtenida en estas tres etapas, fue contrastada y cotejada mediante el procedimiento de triangulación.

#### 4. Procesamiento, análisis e interpretación de la información.

##### Análisis de la vulnerabilidad a la contaminación y determinación de áreas críticas de contaminación

Para el análisis de vulnerabilidad de contaminación se utilizó el modelo DRASTIC desarrollado en Estados Unidos (Aller et ál. 1987) que es una herramienta para evaluar sistemáticamente el potencial de contaminación al agua subterránea de cualquier ambiente hidrogeológico (Alvarado 2000). DRASTIC permite determinar un valor numérico para cada punto mediante la siguiente ecuación:  $V = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$ , donde  $V$  es el índice de vulnerabilidad, los subíndices  $R$  y  $W$  son el puntaje y el peso de ponderación, respectivamente (Bessouat et ál. 1999).  $D$ ,  $R$ ,  $A$ ,  $S$ ,  $T$ ,  $I$  y  $C$  corresponden a los parámetros hidrogeológicos que permiten obtener el índice DRASTIC:

$D =$  *Depth to water* (profundidad del nivel freático)

$R =$  *Recharge* (recarga neta)

$A =$  *Aquifer media* (tipo de acuífero)

$S =$  *Soil media* (tipo de suelo)

$T =$  *Topography* (topografía, pendiente)

$I =$  *Impact of the vadose zone media* (impacto del tipo de zona vadosa)

$C =$  *Conductivity of the aquifer* (conductividad hidráulica)

Para aplicar este modelo se realizó el reconocimiento del área de estudio y se recolectó información de 36 pozos. Los perfiles de los pozos perforados fueron proporcionados por las Juntas de Saneamiento, por el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA) y por propietarios privados. La posición geográfica de los pozos fue tomada a través de un GPS (Global Position

System). La integración de los datos y el manejo de la información cartográfica se hicieron con el programa ArcView 3.3, usando varias extensiones del programa para el procesamiento de los datos.

Con el modelo DRASTIC se generó el mapa de vulnerabilidad de contaminación del acuífero. Mediante la combinación de este mapa con el mapa de uso actual de la tierra, se elaboró un mapa de áreas críticas de contaminación de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo Capiibary. Para el mapa de uso actual de la tierra se utilizó una imagen de satélite Landsat de enero del 2004 y ortofotos digitales. Los tipos de usos identificados fueron: bosques, praderas, agricultura no mecanizada, agricultura mecanizada y áreas urbanas. Al índice de vulnerabilidad DRASTIC y al uso actual de la tierra se los calificó del uno al cinco, según el riesgo de posible contaminación que cada uno ofrece al acuífero, siendo uno el valor que representa el menor riesgo a la contaminación y cinco el valor que representa el mayor riesgo. La metodología detallada de procedimiento de cálculo de cada parámetro hidrológico y la realización de mapas se puede consultar en Laino (2005).

##### Resultados y discusión

###### Análisis del marco legal e institucional

A continuación se presentan las principales debilidades y fortalezas del marco legal e institucional para el manejo del recurso hídrico en la cuenca del arroyo Capiibary, identificadas con este estudio. Entre las *debilidades* destacan las siguientes:

- Falta de un registro completo oficial de datos de pozos pertenecientes al sector público y privado. Ninguna institución posee un registro completo; algunas tienen pozos registrados pero con información incompleta. Estos resultados sugieren que las autori-

dades gubernamentales debieran ejercer un mayor control sobre permisos para la perforación de pozos y registro de la información completa.

- Falta de control sobre la explotación del acuífero. La mejor forma de regular la explotación de acuíferos es mediante el control de la perforación de pozos. Por lo tanto, es importante clarificar el régimen de dominio de las aguas subterráneas, a fin de garantizar el manejo adecuado y la correcta administración de las aguas de los acuíferos. Un análisis de la legislación sobre el agua en el Paraguay, realizado por el Instituto de Derecho y Economía Ambiental en el 2003, expresa la confusión sobre la titularidad de las aguas subterráneas: el marco legal no es claro en cuanto a la posesión y dominio de este recurso.

- Desconocimiento e incumplimiento de la legislación ambiental por parte de la población y falta de control para hacer cumplir las leyes por parte de las autoridades. Durante el trabajo de campo, las entrevistas a informantes claves de las instituciones y a los productores, y los talleres realizados permitieron detectar un desconocimiento generalizado de la legislación existente en el ámbito ambiental. Por ejemplo, tanto quienes deben cumplir las leyes como quienes deben exigir que se cumplan, saben muy poco sobre el uso de agroquímicos.

- Dispersión y superposición de leyes y funciones. En la legislación general sobre el recurso agua existe una excesiva dispersión; varias instituciones manejan normativas que interesan a realidades sectoriales, lo que crea confusión y superposición de responsabilidades que finalmente afectan el manejo del recurso hídrico.

- Marcada diferencia en la organización institucional y en la calidad de vida de los distritos ubicados

en la cuenca. Esto se refleja en los indicadores de calidad de vida (salud, educación, vivienda y desarrollo en general) y finalmente repercute en la capacidad de autogestión y toma de decisiones sobre el manejo del recurso hídrico.

- Falta de recursos económicos manejados a nivel local en las instituciones gubernamentales. Las instituciones públicas locales debieran recibir asignaciones financieras o presupuestarias para que las soluciones sean realmente descentralizadas; debiera darse a los productores asistencia técnica y capacitación en el manejo del agua y otros recursos naturales.
- Ausencia de sistemas de tratamiento de aguas negras y aguas servidas (alcantarillado sanitario). Una gran debilidad que no solamente se da en la zona de estudio, sino a nivel nacional, es la escasa cobertura en saneamiento básico, como alcantarillado sanitario. En el Paraguay, solamente el 18% de la población urbana tiene servicio de alcantarillado sanitario; el problema más grave ocurre en zonas rurales donde ni siquiera el 1% tiene acceso a este servicio.
- Falta de conocimiento e incentivos efectivos para producir conservando el medio ambiente. En general, no existen conocimientos ni incentivos efectivos para una producción amigable con el ambiente. La incorporación de tecnologías limpias en los planes y acciones de manejo de cuencas resulta, hoy día, no solo una estrategia operativa sino también de imagen, fundamentalmente en una cuenca como esta donde la producción ocupa un lugar prominente, tanto para el mercado nacional como internacional.

En cuanto a las principales *fortalezas*, el estudio identificó las siguientes:

- Formación de la Comisión Local de apoyo al proyecto piloto Itapúa-Paraguay. Esta comisión se constituyó en abril 2005 en el



Foto: Rafeala M. Laino

La determinación participativa de los principales problemas asociados al recurso hídrico es fundamental para la búsqueda de alternativas de manejo sostenible

contexto del proyecto “Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní” que se desarrolla conjuntamente en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Este proyecto busca diseñar mecanismos de protección y conservación de las aguas subterráneas mediante la gestión integrada y sostenible a corto y largo plazo, con la participación activa de la población civil desde las etapas iniciales. Una de las primeras acciones ha sido la creación de áreas piloto en los países involucrados, destinadas a desarrollar proyectos demostrativos que ayuden a evaluar mecanismos relacionados con la gestión y protección de las aguas subterráneas.

- Inicio del proceso de descentralización de atribuciones y funciones. En diciembre 2004 se firmó el convenio de implementación del proceso de descentralización de atribuciones y funciones entre la gobernación de Itapúa y los municipios de Obligado, Alto Verá, Bella Vista, Pirapó, Capitán Miranda, La Paz, Edelira, Jesús, Hohenau, Capitán Meza, Nueva Alborada y

Trinidad. Con ello, los municipios tienen mayor espacio y responsabilidad para la toma de decisiones en diferentes campos, incluyendo la gestión de recursos naturales.

- Ejecución del proyecto de sistema de alcantarillado sanitario en la ciudad de Hohenau. Este proyecto forma parte del Proyecto Rural de Suministro de Agua y Saneamiento, que viene implementando el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental. La ejecución de este proyecto en al menos uno de los cuatro centros urbanos asentados en la cuenca constituye una fortaleza, si se considera la escasa cobertura de saneamiento básico a nivel nacional.
- Acciones relacionadas con la producción limpia impulsadas por la Cooperativa Colonias Unidas, de gran influencia en la zona. La Cooperativa Colonias Unidas es una de las más grandes del país, y viene realizando importantes acciones relacionadas con la producción y conservación del medio ambiente, como la campaña de recolección y reciclado de envases vacíos de agroquímicos.



- Coordinación entre instituciones públicas y del sector privado para la ejecución conjunta de acciones que protejan el recurso hídrico. Por ejemplo, la instalación de “abastecedores comunitarios”, con el apoyo de productores, municipalidades y la Cooperativa Colonias Unidas. Estos abastecedores son puntos de abastecimiento de agua para los equipos de fumigación; con ello se evita que estos carguen directamente en el cauce de los ríos y se reduce la contaminación de las aguas.
- Lecciones aprendidas con la ejecución del proyecto de recuperación del arroyo Pirapó. Este ha sido uno de los pocos proyectos que utiliza la cuenca como espacio de gestión territorial; por ello las lecciones aprendidas podrían ser aprovechadas en otras cuencas.
- Participación comunitaria y de los gobiernos locales en la gestión del recurso hídrico y en el funcionamiento de las Juntas de Saneamiento. Estas son entidades locales, no gubernamentales, que tienen como objetivo colaborar en la orientación y organización de las comunidades en cuanto a los problemas de saneamiento, participar en la elaboración de los programas locales de saneamiento y en su ejecución, y administrar los sistemas de agua potable y disposición de excretas y basura.
- Autofinanciamiento y sostenibilidad financiera en el funcionamiento de las Juntas de Saneamiento. Estas organizaciones están conformadas por los mismos usuarios, quienes administran el servicio de provisión y distribución del agua, así como la determinación de las tarifas y cobro del consumo. Han funcionado exitosamente desde hace 30 años, con independencia y sostenibilidad financiera, lo que indica la importancia de la participación comunal y local en la gestión del recurso hídrico.

### Identificación de las principales actividades antrópicas

Las principales actividades antrópicas realizadas en el área rural de la cuenca en estudio son las siguientes: agricultura (agricultura de subsistencia, agroindustria, cultivos perennes, cultivos temporales), ganadería vacuna (extensiva y de subsistencia), combinación de agricultura y ganadería vacuna, combinación de agricultura y ganadería menor (cultivos, apicultura, cría de cabras, cría de cerdos, piscicultura). El 88% de las fincas encuestadas se dedican a la agricultura: 18% en combinación con ganadería y 4% en combinación con otros rubros, 66% se dedica exclusivamente a la agricultura y 12% se dedica exclusivamente a la ganadería (Fig. 2). Durante el estudio y los recorridos de campo se observaron otros tipos de actividades, como la extracción de arena gorda para la construcción y piedra para distintos usos (pisos, construcción, muebles, etc.).

El uso de la tierra en la cuenca sigue generalmente el mismo patrón. En los suelos derivados del basalto se encuentran cultivos mecanizados, como soya, trigo y maíz y una extensión menor con agricultura perenne, como yerba mate, tung y frutales. En la zona de arenisca se ubican los pequeños productores con cultivos de subsistencia (mandioca, maíz, poroto y animales menores) y algunos cultivos para la venta, como el algodón; sus propiedades son de tamaño pequeño. En los suelos más pobres, se encuentran establecimientos ganaderos con pasturas naturales y algunas cultivadas.

La población descendiente de europeos fue la primera en colonizar el área a principios del siglo XX; desde entonces, se han dedicado a la agricultura en suelos derivados de roca basáltica, en lo que actualmente se conoce como Colonias Unidas. Estos colonos y sus descendientes trajeron consigo una gran experiencia en la explotación de los recursos naturales, lo que les ha llevado a

alcanzar niveles económicos altos. La población nativa colonizó zonas con mayores limitaciones y donde la actividad agrícola solo permite el sustento de la familia y un ingreso muy bajo por venta de algunos productos. Poblaciones rurales de origen paraguayo se asentaron en lugares de topografía difícil y suelos pedregosos con afloraciones superficiales, lo que representa una fuerte limitación para la actividad agrícola o pecuaria, como a lo largo del río Paraná y en las colinas de arenisca.

### Determinación participativa de los principales problemas asociados al manejo del recurso hídrico

El área de estudio se encuentra en una zona geográfica de gran riqueza hídrica, como lo evidencian los resultados obtenidos: 72% de las fincas visitadas poseen cursos naturales de agua, el 44% posee un solo curso y el 28% posee más de uno. Sin embargo, los actores locales de la cuenca identificaron una serie de problemas relacionados con el manejo del recurso hídrico, aunque los dos primeros fueron destacados:

- Desigualdad en el acceso al agua para consumo humano.
- Márgenes de cauces sin protección vegetal (desaparición de los bosques ribereños).
- Falta de agua en verano por pozos superficiales que se secan en esta temporada.
- Uso excesivo y sin control de productos químicos en el manejo de los cultivos.
- Mal manejo de desechos y envases de agroquímicos.
- Contaminación del agua por desechos y agroquímicos vertidos directamente en los arroyos.
- Contaminación del agua y del aire causa problemas de salud.
- Muerte de especies animales y vegetales por contaminación del agua.
- Deforestación masiva, expansión de la frontera agrícola a expensas de tierras de bosques.

- Falta de incentivos para la reforestación con especies nativas.
- Uso de tecnologías de producción que no incorporan medidas conservacionistas de suelo y agua.
- Crecimiento poblacional sin considerar el ordenamiento territorial.
- Incumplimiento de la legislación vigente.

Solamente el 7% de los encuestados tienen conexión a la red de distribución de agua potable, el 80% usa agua de pozos y el 9% consume agua directamente desde las nacientes o arroyos. El 30% de las familias transportan el agua a pie, en baldes. El 2% de los encuestados mencionó como principal problema de su finca, la falta de agua en verano porque a veces sus pozos se secan en esta temporada.

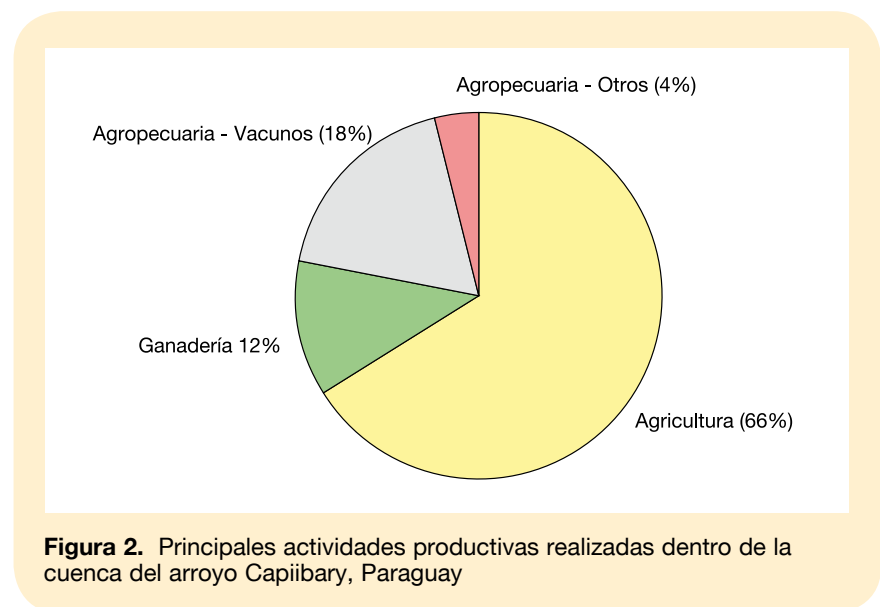
Otro de los principales problemas identificados fue la ausencia de cobertura vegetal en las márgenes de los cauces. Con base en una escala de tres niveles de protección, el 35% de las propiedades que poseen cuerpos naturales de agua tienen una buena protección de las zonas ribereñas, el 22% regular y el 39% mala. Los pobladores de la cuenca también mostraron preocupación por la deforestación, con la consecuente extinción de especies nativas (tanto animales como vegetales), en todos los talleres realizados. Otros problemas mencionados fueron el mal manejo forestal, la falta de reforestación y la deforestación a lo largo de los cauces.

El avance de la frontera agrícola a expensas de los bosques naturales es un serio problema en la cuenca del arroyo Capiibary. Más de la mitad del área deforestada correspondía a los mejores bosques con especies forestales valiosas. La disminución de áreas boscosas ha ocasionado también el deterioro de la fauna silvestre, abundante en décadas pasadas y de gran importancia como fuente de alimento y de biodiversidad genética. La expansión de la frontera agropecuaria ha venido

acompañada del uso de tecnologías de producción que no toman en cuenta prácticas conservacionistas de suelos y aguas y aceleran los procesos de degradación.

La vegetación nativa del área ha sufrido alteraciones a tal punto que quedan pocos remanentes. La reforestación en la zona ha sido limitada (solamente 28% de los productores encuestados han realizado algún tipo de reforestación), faltan

de salud que esto acarrea, el escaso conocimiento sobre uso y manejo de agroquímicos, la contaminación del aire con efectos nocivos para la salud y la infiltración de residuos químicos que pueden contaminar el acuífero. La producción de soja se evidenció como la actividad agrícola que hace mayor uso irracional de agroquímicos y posiblemente la que más contribuye a los efectos antes mencionados.



**Figura 2.** Principales actividades productivas realizadas dentro de la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay

incentivos para promover esta práctica y la mayoría de las plantaciones forestales establecidas han empleado especies exóticas como eucalipto, pino, incienso y cedro australiano.

Los problemas relacionados con el uso inadecuado de agroquímicos se mencionaron en todos los talleres realizados. Los habitantes expresaron su preocupación por el uso excesivo y sin control de estos productos, el mal manejo de desechos tóxicos (los envases de agroquímicos son enterrados, pero las fuertes lluvias erosionan el suelo y, en consecuencia, los recipientes afloran y contaminan el área), la muerte de especies animales por la contaminación de los arroyos, la fumigación sin protección adecuada y los problemas

Otro problema mencionado en los talleres, y observado durante los recorridos de campo, es el acelerado crecimiento poblacional. En la mayoría de los casos, no se tiene un plan de ordenamiento territorial; zonas periféricas de centros urbanos, que apenas hace tres años se consideraban dentro del área rural, ahora se están urbanizando rápidamente. A medida que crece la población humana, crece también la demanda por agua -especialmente de aguas subterráneas- y aumentan las posibilidades de contaminación del acuífero y de los cursos de agua superficiales. A esto se debe agregar el incumplimiento de las leyes y normativa vigente con respecto al ambiente y los recursos naturales.

## Alternativas de manejo sostenible del recurso hídrico

Las alternativas de manejo sostenible del recurso hídrico que fueron identificadas de manera participativa junto con los pobladores de la cuenca del arroyo Capiibary se presentan a continuación:

- Mayor control y cobro de multas por incumplimiento de las leyes en lo referente a deforestación, eliminación de la cobertura vegetal en los márgenes de los cursos de agua y vertido de basura y productos químicos directamente a los cursos de agua. En este contexto, podría analizarse la incorporación de pagos por los daños ambientales causados por los procesos productivos; nótese, sin embargo, que estos representan pagos por unidad de contaminación, la cual muchas veces resulta difícil de medir y controlar.
- Asignación de un valor al recurso agua como insumo dentro del proceso productivo. Por ejemplo, los productores de soya utilizan grandes cantidades de agua para la fumigación con productos químicos, sin un costo adicional. También existen industrias en la cuenca que vierten los desechos de su proceso productivo en los cauces. Es necesario que los productores dejen de ver el ambiente como un insumo gratuito; solo así se logrará un uso y manejo más racional de los recursos.
- Incentivos o estímulos para la conservación del agua. Esto incluye mecanismos como el pago por servicios ambientales y otros incentivos y procedimientos para estimular a aquellos productores que realizan acciones que favorezcan al bienestar público y promuevan un mejor manejo de los recursos naturales.
- Incorporación de prácticas de conservación y recuperación del suelo. Por ejemplo, la implementación de sistemas silvopastoriles en las fincas ganaderas, ya que la

ganadería es uno de los usos de la tierra más importantes en la cuenca y se practica con bajo nivel tecnológico.

- Promoción de campañas de concientización para la protección del agua. Por ejemplo, crear conciencia sobre el daño que causa la basura al ambiente, colocar carteles prohibitivos en sitios estratégicos y mencionar el número de Ley que prohíbe esta práctica.
- Programas de educación ambiental y generación de conocimientos sobre el recurso agua y el funcionamiento del acuífero. Una comunidad conocedora de la riqueza natural que posee, que conoce como funciona y el peligro que corre un recurso natural, lo valora y lo protege. El conocimiento se constituye así en un instrumento para priorizar las necesidades hídricas más urgentes y asegurar un futuro al recurso hídrico.
- Capacitación y asistencia técnica para la adopción de prácticas de producción limpia, tales como agricultura orgánica, actividades agrícolas, pecuarias, forestales, industriales y agroindustriales no contaminantes, uso de tecnologías de descontaminación, manejo de desechos líquidos y sólidos y recuperación de suelos degradados (uso abonos verdes).
- Organización de los productores y las comunidades para mejor enfrentar las diferentes situaciones que se presenten en la cuenca; promoción de acciones grupales (campañas de reforestación, educación ambiental, protección de nacientes de agua, etc.); comercialización y adquisición de productos en forma grupal, ya que rinde mayores beneficios que de manera individual; gestión ambiental y social.

Para impulsar alternativas de protección y mantenimiento de la calidad del agua y el manejo sostenible de la cuenca es necesario contar con un organismo representativo de

la cuenca del arroyo Capiibary. Este organismo debiera conformarse con representantes de cada uno de los distritos asentados en la cuenca. El elemento más importante para definir la cuenca como unidad de planificación y de gestión es que la misma constituye un sistema donde el elemento integrador es el agua. La cuenca constituye un sistema conformado por las interrelaciones de diferentes subsistemas, tales como lo social, económico, político, institucional, cultural, legal, tecnológico, productivo, físico y biológico. Por lo tanto, este enfoque haría posible una gestión integral que garantice la producción en forma armónica con la conservación del ambiente. Las propuestas de ordenamiento territorial debieran enmarcarse dentro de este enfoque de cuenca hidrográfica como un mecanismo para viabilizar la aplicación de políticas y acciones requeridas para la planificación de los recursos naturales, de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra y las necesidades presentes y futuras de las poblaciones.

## Vulnerabilidad a la contaminación y áreas contaminantes críticas *Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní*

El mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní a causa de las actividades productivas y asentamientos humanos en la cuenca del arroyo Capiibary se creó por medio del modelo DRATIC (Fig. 3). Los resultados indican que, en la cuenca, 34.890 ha (36%) presentan baja vulnerabilidad de contaminación y 61.717 ha (64%) presentan vulnerabilidad media. No se encontraron zonas de vulnerabilidad muy alta, alta ni muy baja. Estos resultados sugieren que las características hidrogeológicas del acuífero en la cuenca del arroyo Capiibary protegen de la contaminación a las aguas subterráneas. De hecho, algunos estudios preliminares realizados por el Proyecto Piloto Itapúa-PY y

SAG-PY no han evidenciado contaminación del acuífero. Sin embargo, este es el momento oportuno para tomar medidas preventivas que protejan esta riqueza almacenada en el subsuelo. Las aguas subterráneas son más difíciles de contaminar que las aguas superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de revertir la situación porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento (Hirata 2002). Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua de los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación.

Una limitante en este estudio fue que solamente se pudo obtener información de 36 pozos para aplicar el modelo DRASTIC y crear el mapa de vulnerabilidad, además la distribución de los pozos estaba concentrada en los centros urbanos de los distritos de Hohenau y Obligado, por este motivo los datos tienden a estar más concentrados en las proximidades a estas zonas.

#### Áreas críticas de contaminación del acuífero Guaraní en la cuenca del arroyo Capiibary

Los resultados indican que 15.526 ha (16%) de la cuenca del arroyo Capiibary presentan condiciones muy críticas de contaminación a las aguas del acuífero Guaraní, 47.786 ha (50%) presentan condiciones medianamente críticas y 33.117 ha (34%) no son críticas (Fig. 4). Las áreas muy críticas corresponden a las zonas urbanas y zonas dedicadas a la agricultura mecanizada en áreas de vulnerabilidad media según el índice DRASTIC (Cuadro 1). Las urbanizaciones son focos puntuales de contaminación debido a que el aumento de la población produce una mayor generación de residuos sólidos y líquidos, lo que aumenta el riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, más aún en zonas donde no

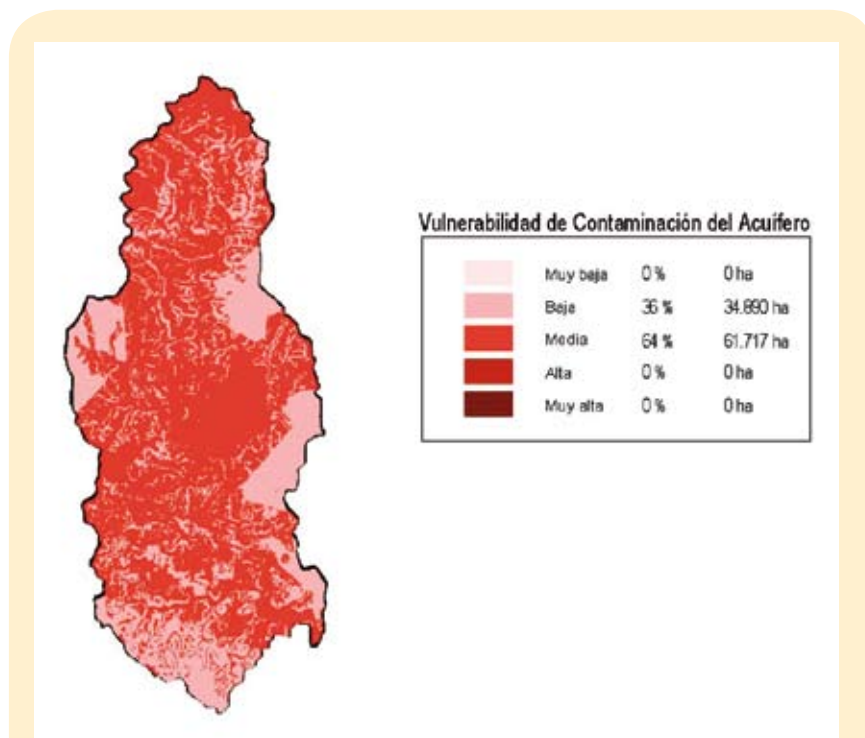


Figura 3. Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Guaraní en la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay, según el modelo DRASTIC

#### Cuadro 1.

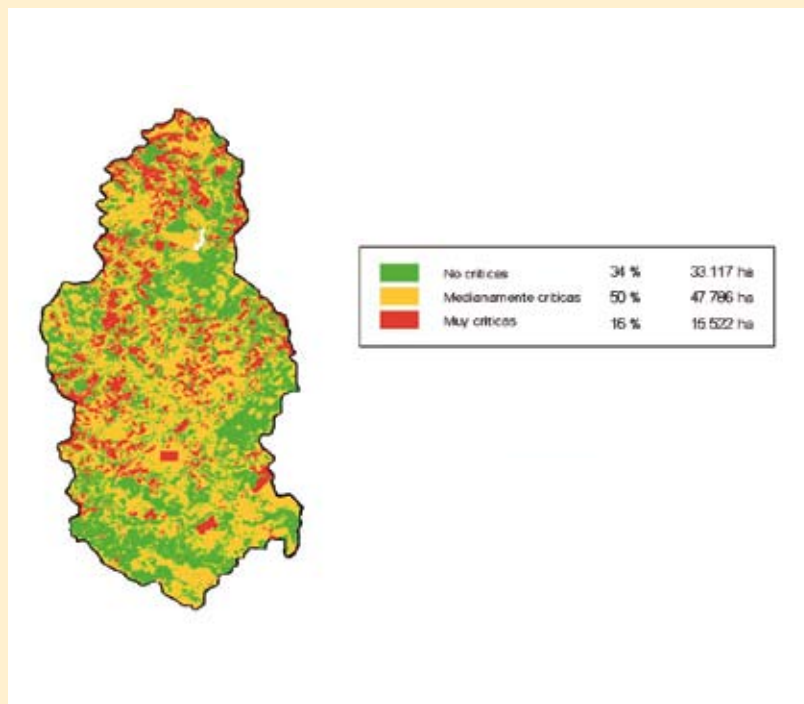
Superficie y distribución de las áreas muy críticas de contaminación a las aguas subterráneas dentro de la cuenca del arroyo Capiiraby, Paraguay

Distrito	Superficie (ha)	Superficie (%)
Trinidad	777	5,00
Pirapó	1.225	7,90
Obligado	5.405	34,81
Nueva Alborada	8	0,05
La Paz	1.110	7,15
Jesús	2.519	16,22
Hohenau	1.779	11,46
Capitán Miranda	53	0,34
Bella Vista	271	1,74
Alto Verá	2.379	15,32
Área muy crítica total	15.526	100

existe un sistema de alcantarillado sanitario. Además de la agricultura mecanizada, la deforestación que deja al suelo desprotegido, el uso de herbicidas, insecticidas, fungicidas y

fertilizantes químicos en el manejo de los cultivos y el manejo inadecuado de los envases de productos químicos son factores que tienden a agravar la situación.





**Figura 4.** Áreas críticas de contaminación del acuífero Guarani en la cuenca del arroyo Capiibary, Paraguay

## Conclusiones

La inexistencia de controles detallados y precisos de los pozos perforados en la cuenca del arroyo Capiibary revela la necesidad de implementar un control sobre la explotación de las aguas subterráneas, para así determinar con precisión la cantidad de agua que está siendo extraída del acuífero.

Entre los principales problemas relacionados con el manejo del recurso hídrico en la cuenca del arroyo Capiibary se destacan la deforestación masiva por la expansión de la frontera agrícola, el uso excesivo y sin control de productos químicos en el manejo de los cultivos y la pérdida de las zonas ribereñas de los cauces.

En la zona de estudio se da una marcada inequidad en cuanto al uso del agua. Los pequeños productores utilizan escasas cantidades de agua para subsistir; en cambio, los grandes productores que trabajan con agricultura mecanizada extraen grandes cantidades de agua para la fumigación de sus cultivos sin prácticamente pagar nada por el recurso.

Entre las acciones prioritarias para el manejo sustentable del recurso hídrico se propone la creación de un organismo de la cuenca del arroyo Capiibary conformado por representantes de todos los distritos. Este organismo sería el responsable de gestionar el manejo y la conservación del agua, utilizando a la cuenca como unidad de planificación. Como acción correctiva se propone el cobro de multas por contaminación del agua y degradación de los recursos naturales.

Si bien la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es media o baja, es indispensable tomar medidas preventivas que protejan esta gran riqueza almacenada en el subsuelo porque, aunque las aguas subterráneas no se contaminan fácilmente, cuando la contaminación se produce es muy difícil y costoso revertir la situación. 🌱

## Literatura citada

- Aller, L; Leer, J; Petty, R; Hackett, G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. s.e. EPA-600/2-87-0305.
- Alvarado, J. 2000. Sobreexplotación, vulnerabilidad y protección de las aguas subterráneas en Cochabamba, BO. Consultado 09-11-2004. <http://www.aguabolivia.org/PublicarX/GESTION/TEMA3>
- Bessouat, C; Castagnino, G; Santos, J; Oleaga, A; Pacheco, F. 1999. Vulnerabilidad del Acuífero Raigón. Montevideo, UY. Consultado 09-11-2004. <http://www.iica.org.uy/p2-17-pon13.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1981. Contaminación de las aguas subterráneas: tecnología, economía y gestión. Roma, IT, FAO. 161 p.
- Hirata, R. 2002. Contaminación del agua subterránea: mejor prevenir que remediar. *In* Manejo integrado de aguas subterráneas: un reto para el futuro. San José, CR, EUNED. 325 p.
- Laino Guanes, RM. 2005. Manejo del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo Capiibary: implicaciones para la gestión ambiental del acuífero Guarani. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 104 p.
- PADS-SAG (Proyecto de "Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guarani"). 2004 PADS-SAG (en línea). Consultado 01-2004. Disponible en [http://www.sg\\_guarai.org](http://www.sg_guarai.org).

# Efectos del aumento poblacional y del cambio de uso del suelo en los recursos hídricos en la microcuenca del río Ciruelas, Costa Rica<sup>1</sup>

**Natalia Ureña**

*nurena@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez**

*fjimenez@catie.ac.cr*

**J. Reynolds**

*Unversidad Nacional. jreynold@una.ac.cr*

**Jeffry Jones**

*CATIE. jjones@catie.ac.cr*

**Cornelis Prins**

*CATIE. prins@catie.ac.cr*

Aunque existe preocupación por parte de la población por el manejo actual deficiente del agua en la microcuenca del río Ciruelas, no existe suficiente liderazgo institucional ni organizacional para canalizar y coordinar esfuerzos y recursos tendientes a lograr una gestión integrada de los recursos hídricos en esta área.

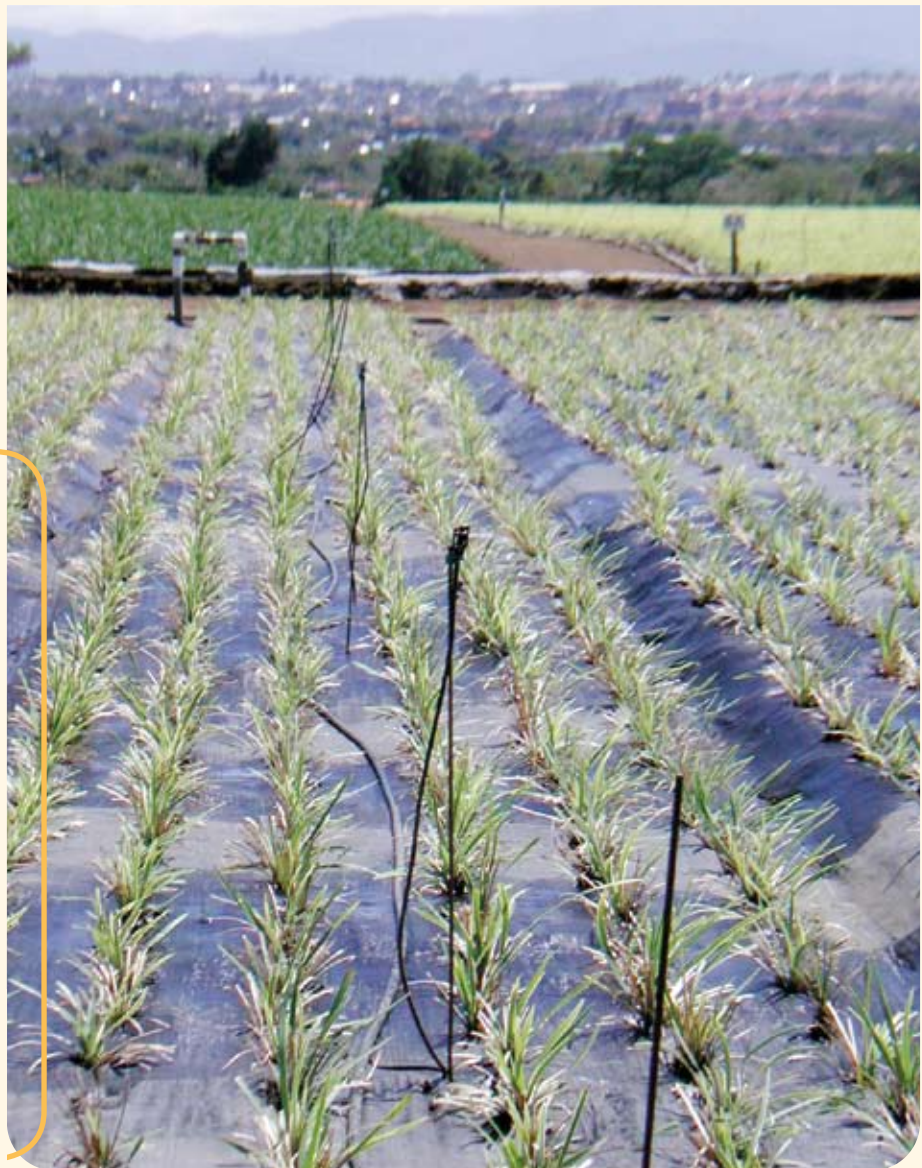


Foto: Lorena Orozco.

<sup>1</sup> Basado en Ureña Retana, N. 2005. Efectos del aumento poblacional y del cambio del uso del suelo sobre los recursos hídricos en la microcuenca del río Ciruelas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 170 p.

## Resumen

El objetivo del estudio fue relacionar el aumento poblacional, los cambios de uso del suelo y las actividades humanas con el deterioro del recurso hídrico superficial y subterráneo en la microcuenca del río Ciruelas, subcuenca del río Virilla, Costa Rica, durante los periodos 1989-1998 y 1998-2003. El estudio demuestra que la mayor tendencia en la dinámica del uso del suelo en la microcuenca es hacia la expansión de los asentamientos humanos, y que la densidad poblacional en los cantones de la microcuenca presentó un crecimiento continuo. Según la percepción local, los planes reguladores municipales son herramientas urgentes y necesarias para realizar gestiones eficientes con respecto a los recursos hídricos. La falta de un sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento para aguas residuales es un problema en la microcuenca por falta de coordinación institucional y limitaciones económicas. En la microcuenca existe un alto grado de información e interés sobre la situación actual de los recursos hídricos; sin embargo, falta coordinación y comunicación entre los actores locales.

**Palabras claves:** Recursos hídricos; cuencas hidrográficas; agua superficial; aguas subterráneas; uso de la tierra; densidad de la población; río Ciruelas, Costa Rica.

## Summary

### **Effects of the increase in population and change in soil use on water resources in the Ciruelas River microwatershed, Costa Rica.**

The objective of the research was to relate the population increase, changes in soil use, and human activities with the deterioration of surface and underground water resources in the Ciruelas River microwatershed, Virilla River subwatershed, Costa Rica during a span of time from 1989-1998 and 1998-2003. The study demonstrated that the main tendency in soil use was toward the expansion of human settlements, and that population density showed a continuous growth. According to local perception, municipal regulatory plans are urgently needed to efficiently manage water resources. Lack of sewer and residual water treatments is a problem in the microwatershed due to poor institutional coordination and economic limitations. Among settlers, there is a high level of information and interest regarding the actual situation of water resources in the micro-watershed; nevertheless, there is neither coordination nor communication among local actors.

**Keywords:** Water resources; watershed; superficial water; underground water; land use; population density; Ciruelas River, Costa Rica.

## Introducción

En Costa Rica, la expansión urbana se ha desarrollado en mayor escala en la zona central del país, donde se ubica la Gran Área Metropolitana (GAM). En esta región de 1700 km<sup>2</sup> se encuentran las ciudades de San José, Heredia, Alajuela, Cartago y muchos poblados que las rodean e interconectan para formar una gran zona urbana. Datos del censo poblacional del 2000 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo de Costa Rica (INEC 2001) indican que esta área posee más de dos millones de habitantes, lo que representa el 54% de

la población total, concentrada en el 3% del territorio nacional. Esta situación ha hecho que la demanda por recursos como el agua se concentre geográficamente y genere una fuerte presión sobre el recurso, la cual se manifiesta en la contaminación de las fuentes (superficiales y subterráneas) y otros problemas que afectan la salubridad y la calidad de vida de las personas.

Varios factores inciden en la creciente contaminación de aguas superficiales. Según el informe del Estado de La Nación (2002), el mayor problema es la falta de alcantarillados sanitarios en la GAM. Sin embargo,

la ausencia de tratamiento para las aguas residuales provenientes de actividades industriales y agropecuarias es también un serio problema, ya que la mayor parte se vierte directamente en los ríos o se descarga en los suelos. En Costa Rica, las aguas subterráneas representan una fuente importante de abastecimiento (más del 80%). El acuífero Barba es uno de los principales que abastecen áreas urbanas y semiurbanas de la GAM; entre ellas, parte de los cantones de Barva, Santa Bárbara y Alajuela. Este acuífero es el más superficial de los que abastecen la GAM y está formado por materiales de lava de mediana



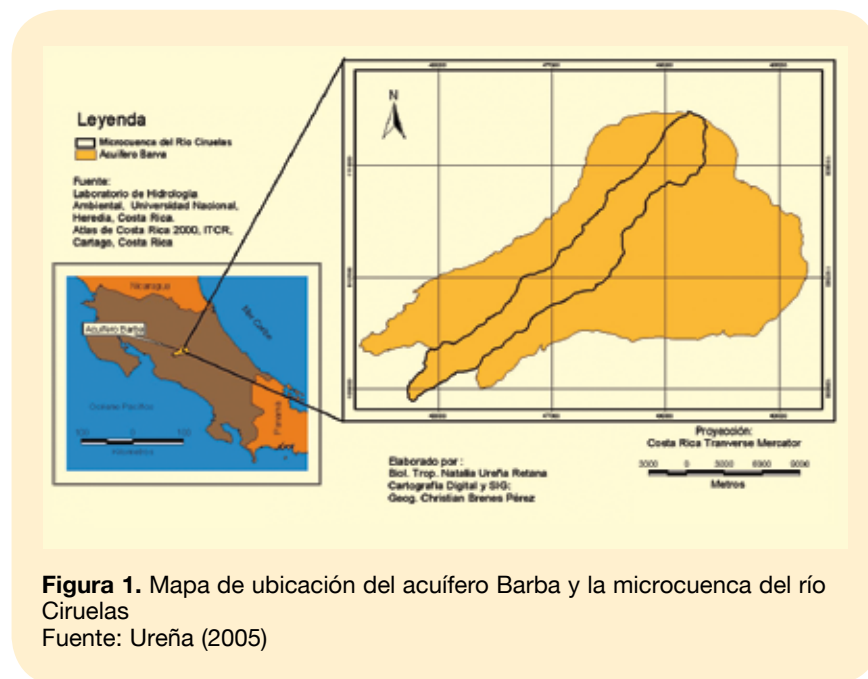
a baja permeabilidad, lo que lo hace vulnerable a la contaminación. La microcuenca del río Ciruelas ocupa una parte importante del área que cubre el acuífero Barba.

Según Reynolds (2002), hasta ahora no hay estudios científicos suficientes que sirvan como un punto de partida para determinar parámetros necesarios para la regulación del buen manejo de los recursos naturales. El objetivo principal del presente estudio fue relacionar el aumento poblacional, los cambios de uso del suelo y las actividades humanas con el deterioro del recurso hídrico superficial y subterráneo en la microcuenca del río Ciruelas.

### Metodología

El área de estudio comprende la microcuenca del río Ciruelas, ubicada dentro de la subcuenca del río Virilla, cuenca del río Grande de Tárcoles, vertiente del Pacífico (Fig. 1). El esquema de investigación incluyó una etapa inicial de recopilación de información base para el estudio, una etapa de aplicación de herramientas para recopilar información de fuentes primarias, otra etapa para la elaboración del mapa multitemporal de cambios de uso del suelo en la microcuenca y análisis de la información, y una etapa final de síntesis y planteamiento de recomendaciones. Para la revisión de antecedentes e información secundaria se tomó como referencia la literatura existente en el área de estudio: trabajos de tesis, informes técnicos y de proyectos, planes institucionales y regionales. La mayor parte de la información base de cada cantón, tales como planes reguladores, permisos de construcción y control de uso del suelo, se consultó en las municipalidades mismas.

Se utilizaron herramientas participativas para recopilar información secundaria, tales como talleres de consulta participativa y entrevistas semiestructuradas con los actores e informantes claves de la microcuen-



**Figura 1.** Mapa de ubicación del acuífero Barba y la microcuenca del río Ciruelas  
Fuente: Ureña (2005)

ca. Con esas herramientas se buscaba obtener información relevante y en forma rápida ofrecida por los actores locales. La temática central que se consideró en los talleres fue principalmente la situación actual de los recursos hídricos en los cantones de la microcuenca (Barva, Santa Bárbara y Alajuela).

Se realizó un análisis multitemporal del uso del suelo en la microcuenca para 1989, 1998 y 2003. La herramienta de análisis fue el Sistema de Información Geográfica (SIG), programa Arc View 3.3®. Como insumos se utilizaron las fotografías aéreas de los años mencionados; una vez ortorectificadas, se delimitó el área de estudio y se digitalizó sobre la misma (9034 ha). Se definieron cinco categorías de uso del suelo: cobertura boscosa, asentamientos humanos, pastos y charrales, café y otros cultivos (caña, hortalizas y viveros). Se elaboraron matrices de cambio del uso del suelo utilizando la extensión “Detección de cambios” de Arc View, con la cual se realizó la unión geométrica de las capas de uso del suelo para los tiempos estudiados.

### Resultados y discusión

#### Cambios de uso del suelo

Las principales categorías de uso del suelo son la cobertura boscosa (23,8%), seguida por los asentamientos humanos y otros cultivos, cuyas áreas ocupan actualmente alrededor de 20,8% y 19,7%, respectivamente del área total de la microcuenca. Los pastos y charrales alcanzan un 19,2%, seguido del café con un 16,5% del área total (Cuadro 1).

El área de asentamientos humanos ha tenido cambios drásticos en la microcuenca, ya que es la categoría que más ha aumentado en los tres periodos analizados: 14,6% en 1989, 17,2% en 1998 y 20,8% en 2003 (Cuadro 1 y Fig. 2). La cobertura boscosa aumentó en un 2,6% de 1989 a 1998, pero disminuyó 2,9%, de 1998 al 2003, aunque la reducción neta para todo el periodo analizado fue de solamente 0,24% (Cuadro 1 y Fig. 2).

#### Dinámica de uso del suelo

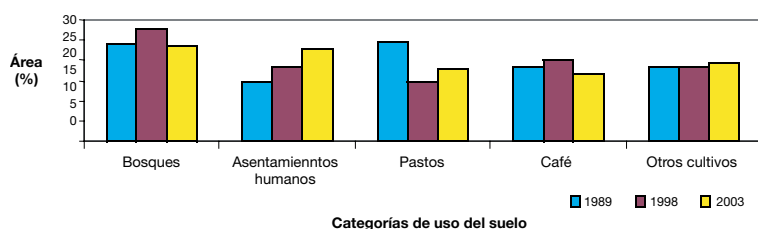
De 1989 a 1998, la cobertura boscosa se incrementó en 351 ha (de 2173 ha a 2524 ha). Los asentamientos humanos cambiaron de 1323 ha a 1677 ha, con un cambio neto de



**Cuadro 1.**

Extensión por categoría de uso del suelo en la microcuenca del río Ciruelas, Costa Rica

Categoría de uso	Área (ha / %)		
	1989	1998	2003
Bosque	2.173 / 24,05	2.411 / 26,68	2.151 / 23,81
Asentamientos humanos	1.323 / 14,64	1.551 / 17,17	1.879 / 20,80
Pastos y charrales	2.238 / 24,78	1.421 / 15,73	1.737 / 19,22
Café	1.645 / 18,21	1.968 / 21,78	1.490 / 16,50
Otros cultivos	1.655 / 18,32	1.684 / 18,64	1.778 / 19,68
Total	9.034 / 100	9.034 / 100	9.034 / 100



**Figura 2.** Porcentaje por categoría de uso del suelo en los años 1989 y 1998 en la microcuenca del río Ciruelas

354 ha. Los pastos disminuyeron de 2238 ha a 1335 ha, la mayor parte de los terrenos que cambiaron este uso se incorporaron a los bosques (21,6%). La cobertura de café cambió de 1645 ha a 1840 ha para un aumento de 195 ha, y la cobertura de otros cultivos varió poco (de 1655 ha a 1658 ha). En este periodo la mayor tendencia de uso fue el cambio de pasto a bosque, aunque también ya era evidente el aumento en asentamientos humanos (Cuadro 2).

En el periodo 1998-2003, las tendencias de cambio de uso del suelo presentaron variaciones en todos los usos (Cuadro 2). La cobertura boscosa disminuyó en 381 ha (de 2524 ha a 2143 ha). Los asentamientos humanos se incrementaron en 367 ha (de 1677 a 2044 ha). El 14,1% del bosque cambió a pastos; a la vez, los pastos cambiaron de 1335 ha a

1622 ha y el café de 1840 ha a 1484 ha en favor de los asentamientos humanos, lo cual significa el mayor porcentaje de cambio (14,2%). Lo mismo ocurrió con los otros cultivos que aumentaron de 1658 ha a 1742 ha, teniendo el mayor porcentaje de cambio (1,8%) a asentamientos humanos.

Lo anterior demuestra que la tendencia y, en general, la dinámica de uso del suelo en la microcuenca del río Ciruelas para el periodo 1998-2003 es hacia el aumento del área cubierta por asentamientos humanos. Con estas variaciones, es posible suponer que la tendencia de los bosques en la microcuenca sea, en primera instancia, a convertirse en pastos y luego a asentamientos humanos, lo cual evidencia la importancia de la gestión de los recursos hídricos debido al fuerte incremento de la urbanización.

### Actividades humanas

La población en los tres cantones presentó un crecimiento considerable en los periodos analizados. Para el 2003, el cantón con la mayor densidad poblacional en la microcuenca era Alajuela con una densidad promedio de 15.415 hab./km<sup>2</sup>, seguido por Santa Bárbara con 9271 hab./km<sup>2</sup>. El menor cambio en la densidad poblacional se dio en el distrito de San José de la Montaña del cantón de Barva, que pasó de una densidad poblacional de 90 hab./km<sup>2</sup> en 1989 a 108 hab./km<sup>2</sup> en el 2003 (Figura 3). La población total de la microcuenca pasó de 75.237 habitantes en 1989 a 99.935 en 1998 y a 110.606 personas en el 2003, para una variación de la densidad poblacional de 833 a 1106 y 1225 hab./km<sup>2</sup> respectivamente.

La situación actual de las aguas superficiales y subterráneas en la zona de estudio es determinada principalmente por la demanda del recurso, el estado de la infraestructura disponible, la administración del recurso, el incumplimiento de la legislación, el uso del suelo y, en general, las actividades antrópicas que inciden directa o indirectamente.

La zona de estudio cubre parte de dos de las principales zonas agroindustriales del país: Heredia y Alajuela. En ellas se encuentran gran cantidad de actividades que generan aguas residuales. Según el diagnóstico realizado por ProDUS (2004), la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas negras no funcionan (las de las ciudades de Alajuela y Heredia y 19 urbanizaciones cercanas), por lo que las aguas se descargan directamente a los ríos. En los sitios donde no se dispone de alcantarillado sanitario, muchas de las aguas negras se depositan directamente a los ríos; solo algunas casas cuentan con tanques sépticos y la correspondiente zona de absorción.

En la microcuenca, principalmente en el cantón de Alajuela, se ubican

**Cuadro 2.** Dinámica del uso del suelo (ha y %) de los años 1989 a 1998 y de 1998 al 2003 en la microcuenca del río Ciruelas, Costa Rica

USOS 1989	TRANSICIÓN DE USOS DE 1989 A 1998										ÁREA 1989
	B		AH		P		C		OC		
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
<b>B</b>	1934,9	89,0	50,4	2,3	105,1	4,8	36,4	1,7	46,1	2,1	2173
<b>AH</b>	0	0	1322,8	100	0	0	0	0	0	0	1323
<b>P</b>	482,8	21,6	189,4	8,5	1166,1	52,1	70,5	3,2	329,5	14,7	2238
<b>C</b>	60,5	3,7	32,5	2	15,1	0,9	1457,9	88,6	79,0	4,8	1645
<b>OC</b>	4	2,8	82	5	48,3	2,9	275,1	16,6	1203,4	72,7	1655
<b>TOTAL</b>	ÁREA POR USO EN 1998										9034
<b>9034</b>	<b>2524</b>		<b>1677</b>		<b>1335</b>		<b>1840</b>		<b>1658</b>		
USOS 1998	TRANSICIÓN DE USOS DE 1998 A 2003										ÁREA 1998
	B		AH		P		C		OC		
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
<b>B</b>	2106,4	83,4	36,1	1,7	355,3	14,1	4,1	0,2	22,3	0,9	2524
<b>AH</b>	0	0	1677,2	100	0	0	0	0	0	0	1677
<b>P</b>	32,8	2,5	38,4	2,9	1238,9	92,8	11,4	0,9	13,8	1,0	1335
<b>C</b>	0	0	262,1	14,2	25,2	1,4	1439,5	78,2	113,3	6,2	1840
<b>OC</b>	3,4	0,2	29,9	1,8	3,0	0,2	28,8	1,7	1593,0	96,1	1658
<b>TOTAL</b>	ÁREA POR USO EN 2003										9034
<b>9034</b>	<b>2143</b>		<b>2044</b>		<b>1622</b>		<b>1484</b>		<b>1742</b>		

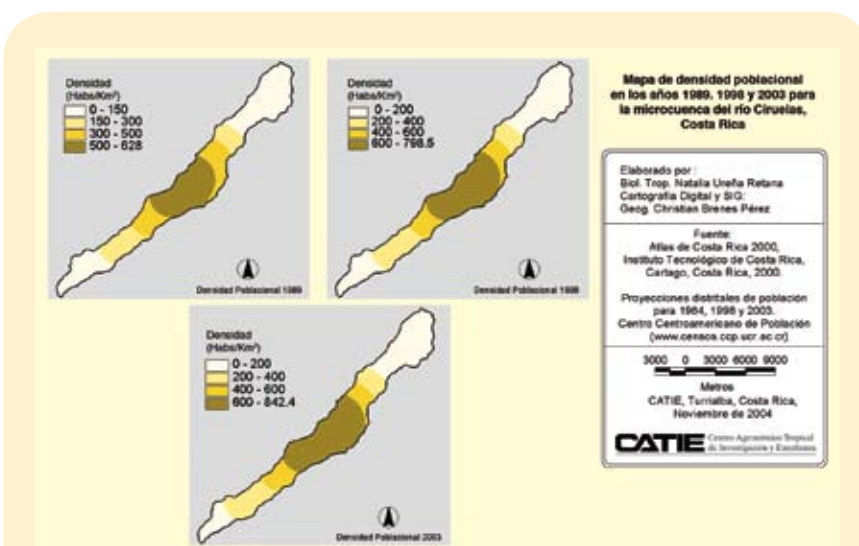
B= bosques; AH= asentamientos humanos; P= pastos y charrales; C= café; OC= otros cultivos

gran cantidad de industrias; según ProDUS (2004), el auge del desarrollo industrial y de asentamientos humanos continúa favorecido por la infraestructura existente, la cercanía al principal aeropuerto internacional del país y porque la microcuenca forma parte de la GAM.

Los porcentajes de cobertura de recolección de desechos sólidos en la zona son altos (ProDUS 2004); sin embargo, se siguen depositando desechos en los ríos, lotes baldíos y calles. La recolección de desechos sólidos en los cantones de la microcuenca está a cargo de las municipalidades y empresas privadas, principalmente la WPP Continental de Costa Rica S.A. Es importante señalar que los sitios de disposición final de desechos deben cumplir con la legislación nacional, específicamente con el Reglamento de Rellenos Sanitarios. Sin embargo, ninguno de los cantones cuenta con un inventario de botaderos clandestinos.

Para efectos del estudio, se diferenciaron dos contextos (nivel nacional y nivel local y regional) para describir el marco legal, institucional y

organizacional que incide directa e indirectamente con el manejo de los recursos hídricos en la microcuenca del río Ciruelas.



**Figura 3.** Mapa de densidad poblacional en la microcuenca del río Ciruelas en 1989, 1998 y 2003  
Fuente: Ureña (2005)

Según Aguilar (2004), no existe un sistema de gestión integrado y planificado del recurso. Lo anterior se refleja en la dispersión y especificidad de competencias de las instituciones responsables. Así por ejemplo, en los cantones de Barva, Santa Bárbara y Alajuela existe una importante cantidad de organizaciones comunales establecidas formalmente y con competencias sobre el uso de los recursos naturales, tales como asociaciones de desarrollo, comités de salud y de aguas, comisiones ambientales municipales, consejos de distrito, entre otros. Sin embargo, las repercusiones de sus acciones en la gestión integrada de los recursos hídricos es muy limitada por falta de coordinación intersectorial e interinstitucional.

Las organizaciones locales funcionan con una dinámica lenta y mecanismos que restringen la participación popular en la toma de decisiones y en la generación de iniciativas para el manejo ambiental en la microcuenca. De las tres municipalidades, solamente la de Alajuela cuenta con una oficina ambiental.

La mayoría de las instituciones estatales relacionadas con la gestión y administración de los recursos hídricos en la microcuenca ejercen acciones centralizadas. Por ejemplo, las oficinas regionales del MINAE y del Ministerio de Salud se ubican en otros cantones de la provincia de Heredia con contextos distintos al que se vive en Barva, y específicamente en San José de la Montaña (distrito ubicado dentro de la microcuenca).


En cuanto al manejo de los recursos hídricos en la microcuenca, los pobladores locales opinan que es evidente la descoordinación interinstitucional y la ineficiencia de los organismos responsables; además, hay poca conciencia ambiental, poca planificación y regulación de las acciones y las leyes no se cumplen. También se menciona la urgencia de aplicar planes reguladores y de que se actualice la legislación con respecto al recurso hídrico a nivel nacional.

## Conclusiones

- En la microcuenca del río Ciruelas el proceso de expansión urbanística está estrechamente asociado al crecimiento poblacional. En el periodo de 1989 a 1998 el desarrollo de asentamientos humanos se realizó principalmente en áreas que estaban bajo pastos y terrenos baldíos, mientras que en los últimos años en áreas dedicadas al cultivo del café.
- El desarrollo urbanístico e industrial desordenado y la falta de cultura ambiental son de los factores que más contribuyen a la contaminación hídrica en la microcuenca.
- Aunque existe preocupación por parte de la población por el manejo actual deficiente del agua en la microcuenca del río Ciruelas, no existe suficiente liderazgo institucional ni organizacional para canalizar y coordinar esfuerzos y recursos tendientes a lograr una gestión integrada de los recursos hídricos en esta área. Es urgente un proceso de planificación, ordenamiento territorial y concertación, con participación amplia de los actores claves de la microcuenca, para implementar acciones para esta gestión integrada.

## Recomendaciones

Es necesario que en los planes reguladores municipales se incluya el enfoque territorial y de cuencas como sistema de planificación, más que el

enfoque administrativo y político. Es imprescindible que haya coordinación entre las municipalidades de Barva, Santa Bárbara y Alajuela, si se pretende ejecutar un plan a nivel de microcuenca. Por otra parte, se deben promover programas municipales de divulgación, comunicación y coordinación de acciones con las organizaciones e instituciones locales, dejando de lado los aspectos sociopolíticos; este aspecto es clave si se quiere impulsar un programa de pago de tarifa hídrica. Además, se debiera implementar el canon por vertidos, como un instrumento clave para la disminución de excretas en la microcuenca, sobre todo en el cantón de Alajuela donde se concentra la mayor área industrial, e incentivar a las industrias y productores para que apliquen tecnologías limpias. 

## Agradecimientos

Al personal de la Escuela de Posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); al Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) por la ayuda financiera parcial de la investigación; a las comunidades y municipalidades de los cantones de Barva, Santa Bárbara y Alajuela; al Laboratorio de Hidrología Ambiental de la Universidad Nacional (UNA) y a las personas e instituciones que de una u otra manera apoyaron el estudio.

## Literatura citada

- Aguilar, A. 2004. Hacia una nueva ley del agua: Memoria de un proceso de construcción participativa. San José, CR, CEDARENA. 85 p.
- Proyecto Estado de La Nación. 2002. Estado de La Nación en Desarrollo Humano Sostenible: séptimo informe 2000. San José, CR.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2001. IX Censo Nacional de Población y V de Vivienda. Resultados Generales. San José, CR, INEC. 220 p.
- PRODUS (Programa de Investigación de Desarrollo Urbano Sostenible). 2004. Diagnóstico biofísico y socioeconómico para el proyecto "Adaptación del sector hídrico al cambio climático en Costa Rica". Informe presentado al Instituto Meteorológico Nacional. San José, CR, IMN. 121 p.
- Reynolds, J. 2002. Manejo integrado de aguas subterráneas: un reto para el futuro. San José, CR, EUNED. 325 p.
- Ureña Retana, N. 2005. Efectos del aumento poblacional y del cambio del uso del suelo sobre los recursos hídricos en la microcuenca del río Ciruelas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 170 p.



# Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica<sup>1</sup>

**Ruth Cecilia Auquilla**  
*auquilla@catie.ac.cr*  
*ruvisa\_enero2@hotmail.com*  
**Yamileth Astorga**  
*Universidad de Costa Rica*  
*yastorga@racsa.co.cr*  
**Francisco Jiménez**  
*CATIE. fjimenez@catie.ac.cr*

La calidad del agua a nivel físico-químico tuvo alteraciones importantes debido al cambio de uso de suelo, factor principal que influye en la vulnerabilidad del recurso. A la medida que disminuye la franja ribereña de las microcuencas y se incrementa el área de pasturas-ganadería, con el consecuente acceso de los animales al cauce, también aumenta el aporte de materia contaminante. La mayoría de los parámetros no presentaron diferencias entre épocas climáticas.

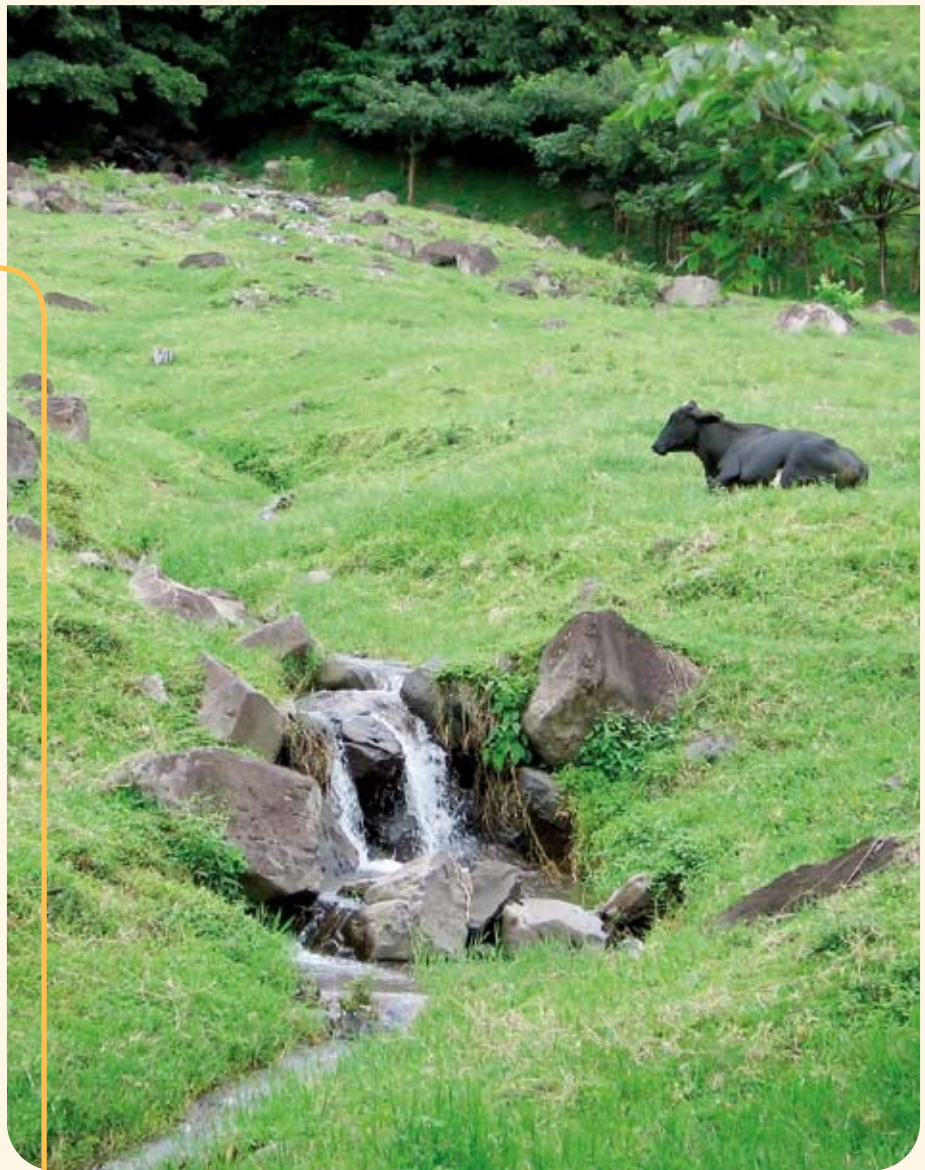


Foto: Ruth Cecilia Auquilla.

<sup>1</sup> Basado en Auquilla Cisneros, RC. 2005. Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 123 p.



## Resumen

La subcuenca del río Jabonal, Costa Rica, se caracteriza por el predominio de extensas áreas dedicadas a la producción ganadera. Se seleccionaron ocho microcuencas y se evaluó la calidad del agua a través de análisis físico-químicos y bacteriológicos y una técnica de monitoreo biológico de macroinvertebrados bentónicos. En cada microcuenca se seleccionaron cuatro escenarios de muestreo: naciente, bosque ribereño, pasturas y establos. Se recolectaron muestras en la época seca, en el periodo de transición (seca-lluviosa) y en época lluviosa. El análisis físico-químico demostró que la calidad del agua tuvo alteraciones importantes debido al cambio de uso de suelo. Se determinó que el aporte de contaminantes aumenta a medida que disminuye la franja ribereña de las microcuencas y se incrementa el área de pasturas-ganadería. Sin embargo, la mayoría de los parámetros no presentaron diferencias entre épocas climáticas. Los parámetros de calidad de agua que excedieron el nivel crítico para consumo humano fueron la demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos, el fósforo total y coliformes fecales y totales. Estos parámetros debieran ser de atención prioritaria en monitoreos futuros y en la planificación de acciones de manejo de la subcuenca. El índice biológico BMWP-CR proporcionó información sobre el estado del ecosistema acuático y por su bajo costo y facilidad de aplicación puede ser utilizado para un programa permanente de monitoreo de la calidad del agua en las cuencas.

**Palabras claves:** Microcuencas; ordenación de cuencas; utilización de la tierra; calidad del agua; vigilancia; organismos indicadores; Costa Rica.

## Summary

**Influence of the land use in the quality of the water in the subwatershed of the river Jabonal, Costa Rica.** Jabonal river subwatershed in Costa Rica is dominated by cattle ranching. In eight microwatershed, water quality was analyzed using physic-chemical and bacterial analysis, and the monitoring of benthic macroinvertebrates. In each microwatershed, four sampling scenarios were selected: riparian forest, pasture, river rise, and cowshed. Samples were taken in both the dry and wet season, and in the transition period. Physic-chemical analysis demonstrated that water quality was strongly altered by land use changes. Pollutants in water incremented as riparian buffer strips shrank and cattle ranching increased. Nonetheless, most of the parameters did not show differences among climatic periods. Water quality parameters that exceeded critical levels for human consumption were: chemical demand of oxygen, suspended solids, total phosphorus, fecal and total coliform. These parameters should be of first priority for future monitoring and planning management actions for the subwatershed. BMWP-CR index provided information about the state of riparian ecosystems. Low cost and easy implementation make of BMWP an useful tool for permanent programs on monitoring watersheds' water quality.

**Keywords:** Microwatersheds; watershed management; land use; water quality; monitoring; indicator organisms; Costa Rica.

## Introducción

La demanda por el acceso y consumo de agua es cada vez mayor en el ámbito mundial, por lo que su protección es un tema de interés global; sin embargo su disponibilidad ha disminuido en fuentes subterráneas y superficiales. El acceso al agua de calidad y cantidad permanente es un derecho de toda la humanidad, no obstante, en el mundo hay más de mil millones de personas sin acceso a agua segura para satisfacer sus niveles mínimos de consumo (GWP 2004). En Centroamérica la principal causa de la degradación del recurso hídrico es el avance de la frontera agropecuaria, con prácticas de uso del suelo tradicionales, como la ganadería extensiva en zonas de fuertes pendientes, sobrepastoreo, riego por inundación, etc, que han causado impactos negativos sobre los ecosistemas, tales como la contaminación por nitratos y agroquímicos de las aguas superficiales de cuencas hidrográficas importantes (FAO 1996). Sin embargo, esas actividades son una fuente importante de ingresos para pequeños productores.

En Costa Rica, el 63% del agua que se consume proviene de nacientes, el 23% de pozos y 10% de quebradas. La demanda por consumo se incrementa, pero la disponibilidad se reduce por la contaminación, especialmente en zonas de recarga de las fuentes de agua, lo cual pone en riesgo la salud de la población y el equilibrio de los ambientes naturales (GWP 2004).

Dentro del paisaje ganadero, el modelo tradicional de pastoreo en praderas sin árboles y la falta de tecnologías para una producción más sostenible han ocasionado el avance de la frontera agrícola. Grandes áreas de bosque natural han sido destruidas; en consecuencia, han aparecido problemas ambientales como pérdida de diversidad biológica, degradación de suelos y contaminación de

fuentes de agua (Murgüeitio et ál. 2003). Los sistemas silvopastoriles, que combinan leñosas perennes con pastos y arbustos, son una alternativa para una producción con mayores beneficios económicos y ambientales. Dichos sistemas podrían ofrecer importantes beneficios en la protección del agua y suelo, ya que su asociación con la vegetación herbácea podría disminuir la escorrentía, pues las raíces funcionan como filtros que atrapan sedimentos y nutrientes, evitando así la alteración de la calidad del agua y del ecosistema acuático (Bremmer 1989).

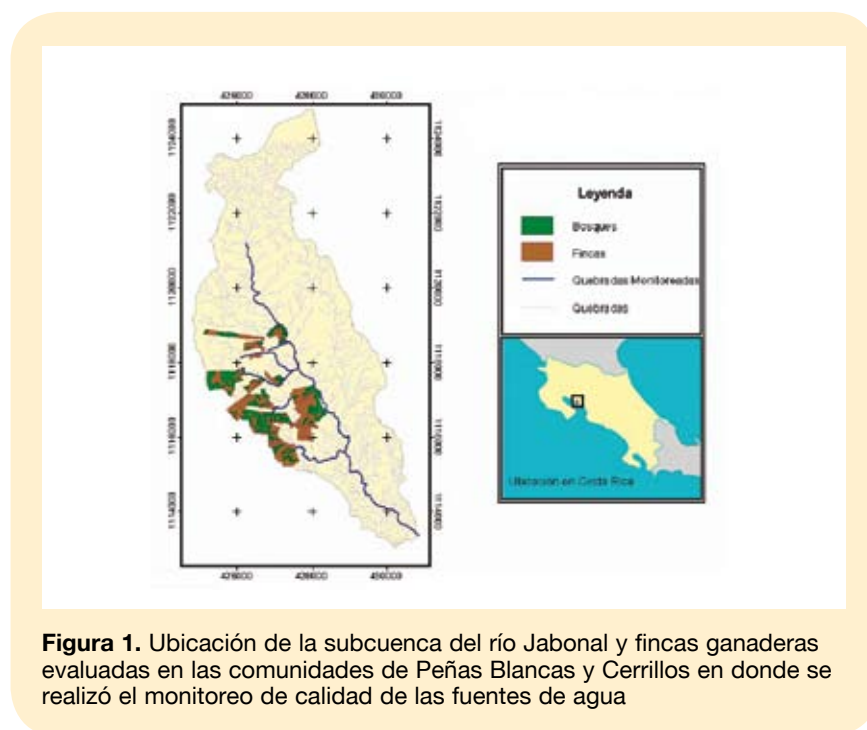
Para analizar la perturbación sufrida en las fuentes de agua, tradicionalmente se han utilizado métodos físico-químicos que ofrecen información puntual del estado del agua. En la actualidad, se ha empezado a usar el análisis biológico a partir de organismos vivos, el cual brinda información de lo que sucedió días y horas antes de la toma de la muestra. El análisis biológico no reemplaza al físico-químico, sino que lo complementa (Cairns y Dickson 1971, Benfield y Niederlehner 1987).

El propósito de esta investigación fue determinar los cambios en la calidad del agua asociados a la disminución de la franja del bosque ribereño y el incremento de la actividad ganadera en fincas con sistemas silvopastoriles, como un insumo que conlleve a promover acciones para la conservación de fuentes de agua y suelos en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica.

## Metodología

### El área de estudio

La investigación se realizó en fincas ganaderas ubicadas en la subcuenca del río Jabonal (700 msnm, 3200 mm/año, 22°C, humedad relativa 90%), cuenca del río Barranca, provincia de Puntarenas, Costa Rica (Fig. 1). La subcuenca tiene un área de 42 km<sup>2</sup>; el 33% del territorio se dedica a la producción ganadera, la cual se desarrolla en zonas de alta vulnerabilidad ecológica. Los suelos se clasifican como inceptisoles, de textura franca a franca arcillosa, quebrados, fuertemente ondulados con zonas escarpadas y pendientes de 30 a 60%.



**Figura 1.** Ubicación de la subcuenca del río Jabonal y fincas ganaderas evaluadas en las comunidades de Peñas Blancas y Cerrillos en donde se realizó el monitoreo de calidad de las fuentes de agua

## Ubicación de los sitios de muestreo

Después de un recorrido por la cuenca, se seleccionaron ocho quebradas y un tramo del río Jabonal para realizar los muestreos, todos los cuales fueron georreferenciados. El monitoreo se realizó durante la época seca, transición (entre seca y lluviosa) y lluviosa. En cada quebrada se ubicaron tres puntos de muestreo: el primero en la naciente de agua, el segundo aguas abajo de una franja protegida (bosque ribereño), con un uso de suelo definido (pastura con árboles y pastura degradada) y el tercero aguas abajo, sin presencia de franja ribereña y con predominio de potreros (pastura con árboles, pastura degradada). En dos quebradas se ubicó un cuarto punto para evaluar la presencia de establos como una fuente de contaminación puntual.

### Monitoreo para el análisis físico-químico y bacteriológico del agua

De marzo a setiembre del 2005, se realizaron los muestreos en los tres periodos de monitoreo (época seca, transición y lluviosa). Se recolectaron en total 72 muestras de agua para los análisis físico-químico y bacteriológico; en época seca se colectaron 12 muestras en cuatro quebradas, ya que las otras no tenían flujo hídrico en ese momento, 30 en época de transición y 30 durante la época lluviosa.

En el campo se evaluó el oxígeno disuelto (con un medidor portátil Extech, modelo 407510) y la temperatura del agua (con un termómetro digital de precisión, marca Taylor), según el protocolo establecido por el laboratorio del Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA) de la Universidad de Costa Rica. Las muestras de agua se colectaron en botellas plásticas estériles de 2 litros de capacidad volumétrica. En botellas de color oscuro se recogieron las muestras para análisis

de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y en botellas claras las muestras para análisis de demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, pH, dureza, turbiedad, nitratos y fosfatos. En bolsas plásticas estériles de 100 ml de capacidad volumétrica se recolectaron las muestras para análisis microbiológico (coliformes fecales y totales). Todos los envases fueron identificados y colocados en una hielera con temperatura promedio de 10°C, para su traslado al laboratorio del CICA donde se realizaron los análisis correspondientes. A partir de los resultados de los parámetros oxígeno disuelto, pH, DBO, DQO y nitratos se calculó el índice de calidad del agua (índice ICA Prati).

### Monitoreo biológico de las quebradas en estudio

Para este monitoreo se analizó la presencia de organismos macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos. Los momentos de monitoreo fueron los mismos que para el análisis físico-químico y bacteriológico. La recolección de las muestras de macroinvertebrados bentónicos siguió las recomendaciones propuestas por el “Reglamento de evaluación de la calidad de los cuerpos de agua de Costa Rica”, para ríos y quebradas con profundidades iguales o menores a 1 m y ancho igual o menor a 15 metros (MINAE-MINSA 2003). A partir de cada punto de muestreo para el análisis físico-químico, se midió aguas arriba un tramo de 50 metros para recolectar organismos bentónicos. Se empleó una red de mano tipo “D” y durante cinco minutos se tomaron muestras en corrientes rápidas y lentas, pozas y piedras. La separación de los organismos bentónicos se realizó en el campo; la muestra se colocó en una bandeja blanca y con pinzas se tomaron todos los bentos y se colocaron en frascos plásticos con alcohol al 70%, debi-

damente rotulados. En el laboratorio de entomología de la Facultad de Biología de la Universidad de Costa Rica se identificaron los organismos a nivel de género o familia.

Para determinar la calidad biológica del agua se aplicó el índice de calidad BMWP-CR (*Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica*), el cual se basa en la presencia o ausencia de organismos a nivel de familia, según el grado de tolerancia a la contaminación (Bartram y Ballance 1996). Además, se calcularon los indicadores biológicos siguientes: el índice de diversidad de Shannon-Wiener y el índice de dominancia de Simpson (Magurran 1988).

### Análisis de los resultados

Para el análisis estadístico de los datos se aplicó un diseño de bloques incompletos al azar (algunos tratamientos no existen en todos los bloques). Cada quebrada representa un bloque y cada bloque contiene los tratamientos (escenarios de muestreo): naciente, bosque, pastura y establo. Las épocas de muestreo (seca, transición y lluviosa) se consideraron repeticiones en el tiempo. Se realizó un análisis de varianza de las variables físico-químicas y bacteriológicas y se aplicó la prueba de Duncan para detectar diferencias estadísticamente significativas entre medias de los tratamientos y épocas de muestreo.

Para los datos resultantes de la aplicación del BMWP-CR se realizó un análisis de conglomerados mediante el programa SAS (Statistical Analysis Systems). Para las variables que fueron criterio de agrupación de los conglomerados se aplicó un análisis de varianza utilizando un diseño irrestricto al azar. También se realizó un análisis de varianza para los datos correspondientes al índice de diversidad de Shannon-Wiener y al índice de dominancia de Simpson.

## Resultados y discusión

### Parámetros de calidad físico-química y bacteriológica del agua

Para este análisis se consideraron 13 parámetros físico-químicos de calidad del agua tomados en las tres épocas, pero su número varió de acuerdo con las condiciones y caudal de los sitios de muestreo. Así, se tomaron 15 muestras en las nacientes, 19 en los bosques, 29 en potreros o pasturas y 5 en establos. Estas muestras se distribuyeron así: 11 en época seca, 29 en transición y 28 en época lluviosa. El Cuadro 1 resume los resultados del análisis de varianza para los parámetros de calidad físico-química y bacteriológica evaluados. Hubo diferencias significativas entre bloques (quebradas) para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza total, pH, temperatura del

agua, turbiedad y oxígeno disuelto. Además se observaron diferencias significativas entre tratamientos (naciente, bosque, potrero y establo) para fósforo, pH, coliformes totales, turbiedad e índice ICA Prati. Para el oxígeno disuelto hubo diferencias significativas entre los tratamientos y en las épocas de muestreo, mientras que para la temperatura del agua hubo diferencias entre tratamientos y para la interacción tratamiento por época. Los valores promedio y el error estándar respectivo obtenidos para cada uno de los cuatro tratamientos de todos los parámetros evaluados se presentan en el Cuadro 2.

### Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre tratamientos, épocas de muestreo ni

en la interacción tratamientos por época (Cuadro 1). Todos los niveles de DBO estuvieron entre 2,00 y 2,15 mg/l (Cuadro 2) y son inferiores al máximo permisible establecido para agua de consumo humano en Costa Rica (MINAE-MINSA 2003), que establece valores menores a 5 mg/l de DBO en aguas superficiales como ríos, quebradas y lagos. Estos resultados sugieren que la disponibilidad de materia orgánica en los diferentes escenarios de muestreo y análisis (bosque, nacientes, pasturas y establos) en general es baja.

### Demanda química de oxígeno (DQO)

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para este parámetro de calidad de agua entre tratamientos, épocas ni en la interacción tratamiento por época

**Cuadro 1.**

Resultados del análisis de varianza de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica

Variable	Bloques			Tratamientos		Épocas		Trat*época	
	CV	F	P<0,05	F	P<0,05	F	P<0,05	F	P<0,05
DBO	9,5	3,24	0,005 *	1,95	0,134	2,71	0,076	0,32	0,983
DQO	11,4	3,36	0,0039 *	2,05	0,118	2,80	0,070	0,33	0,916
Dureza	7,8	9,24	<0,001 *	2,08	0,114	2,72	0,076	0,66	0,680
Fósforo	115,9	1,70	0,1229	2,79	0,049 *	1,04	0,360	1,31	0,273
Nitratos	234,7	1,17	0,334	0,23	0,872	0,30	0,742	0,61	0,723
pH	4,4	6,47	<0,001 *	5,61	0,002 *	0,39	0,682	0,46	0,830
Coliformes totales	6,1	1,26	0,284	3,98	0,013 *	0,56	0,574	1,59	0,171
Coliformes fecales	23,3	1,88	0,5397	1,10	0,358	0,26	0,770	2,37	0,044*
Temperatura agua	8,4	2,14	0,048 *	3,55	0,021 *	2,22	0,119	2,41	0,040 *
Sólidos suspendidos	38,6	0,90	0,525	1,85	0,154	0,32	0,572	0,51	0,679
Sólidos sedimentables	109,3	0,82	0,587	0,17	0,918	0,07	0,928	0,07	0,998
Turbiedad	79,9	3,32	0,005 *	0,82	0,489	0,85	0,434	1,85	0,137
Oxígeno disuelto	12,8	5,91	<0,0001 *	6,85	0,0009 *	6,86	0,0024 *	1,61	0,165
ICA Prati	34,3	0,88	0,5393	5,84	0,0017*	1,81	0,173	0,09	0,997

Bloque = quebrada; Tratamiento = nacimiento, bosque, pastura, establo; Época = seca, transición, lluvia; Trat\*época = interacción tratamiento por época; CV = coeficiente de variación; F = frecuencia absoluta; P = probabilidad estadística; DBO = demanda bioquímica de oxígeno; DQO = demanda química de oxígeno; pH= potencial de hidrógeno; ICA = índice de calidad del agua.



**Cuadro 2.**

Resultados del análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua en los diferentes tratamientos, subcuenca del río Jabonal, Costa Rica

Parámetro	Bosques		Nacientes		Pasturas		Establos	
	Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	2,1	± 0,06	2,0	± 0,07	2,00	± 0,03	2,0	± 0,00
Demanda química de oxígeno (mg/l)	19,6	± 2,5	19,7	± 2,5	23,7	± 5,8	16,0	± 0,00
Dureza (mg/l)	54,6	± 4,9	49,8	± 7,5	84,1	± 7,2	56,0	± 5,80
Fósforo (mg/l)	0,09	± 0,02	0,13	± 0,05	0,12	± 0,02	0,35	± 0,19
Nitratos (mg/l)	2,0	± 1,2	0,80	± 0,00	1,00	± 0,10	0,80	± 0,00
Potencial de hidrógeno (pH)	7,6	± 0,1	7,1	± 0,1	7,7	± 0,1	7,6	± 0,10
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	474	± 112	330	± 108	713	± 106	1014	± 359
Coliformes totales (NMP/100 ml)	1511	± 51	1065	± 141	1522	± 77	1760	± 160
Temperatura (°C)	23,4	± 0,4	22,6	± 0,4	25,5	± 0,5	24,6	± 1,1
Sólidos suspendidos (mg/l)	16,88	± 6,71	14,07	± 2,88	51,91	± 24,80	14,00	± 6,00
Sólidos sedimentables (mg/l)	0,11	± 0,01	0,12	± 0,01	0,18	± 0,04	0,12	± 0,02
Turbiedad (UNT)	1,20	± 0,20	0,90	± 0,20	1,60	± 0,30	1,00	± 0,20
Oxígeno disuelto (mg/l)	7,81	± 0,28	6,94	± 0,27	6,57	± 0,26	5,50	± 0,40
Índice de calidad del agua	1,10	± 0,04	1,18	± 0,05	1,53	± 0,12	1,80	± 0,13

(Cuadro 1). Los valores más bajos (16,0 mg/l) se presentaron en el tratamiento establos y los más altos (23,7 mg/l) en pasturas (Cuadro 2). La concentración máxima de DQO permitida para agua de consumo humano es de 20 mg/l en aguas superficiales. Por lo tanto, el agua con influencia del área de pasturas solo puede utilizarse para actividades agropecuarias. Hooda et ál. (2000) asocian niveles altos de DQO al incremento del pastoreo, la concentración demográfica y vertidos orgánicos e inorgánicos. Los valores de DQO siempre son mayores que los de DBO, ya que muchas sustancias orgánicas de aguas residuales y contaminación difusa pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente.

#### *Dureza total*

La dureza indica la concentración de iones Ca y Mg en el agua. Hubo diferencias significativas únicamente entre bloques (quebradas), pero no entre tratamientos, épocas de muestreo, ni en la interacción tratamiento por época (Cuadro 1). Aunque la dureza del agua no tiene efecto en la seguridad del agua para consumo humano, puede resultar en la acumulación de sarro (mayormente carbonatos) en la tubería de distribución del agua. Las muestras correspondientes al tratamiento pastura presentaron la mayor concentración de CaCO<sub>3</sub> (84,1 mg/l) que corresponde a aguas moderadamente duras (IWD 1979); para los otros tratamientos, los niveles de CaCO<sub>3</sub> encontrados clasifican las aguas como suaves (Cuadro 2).

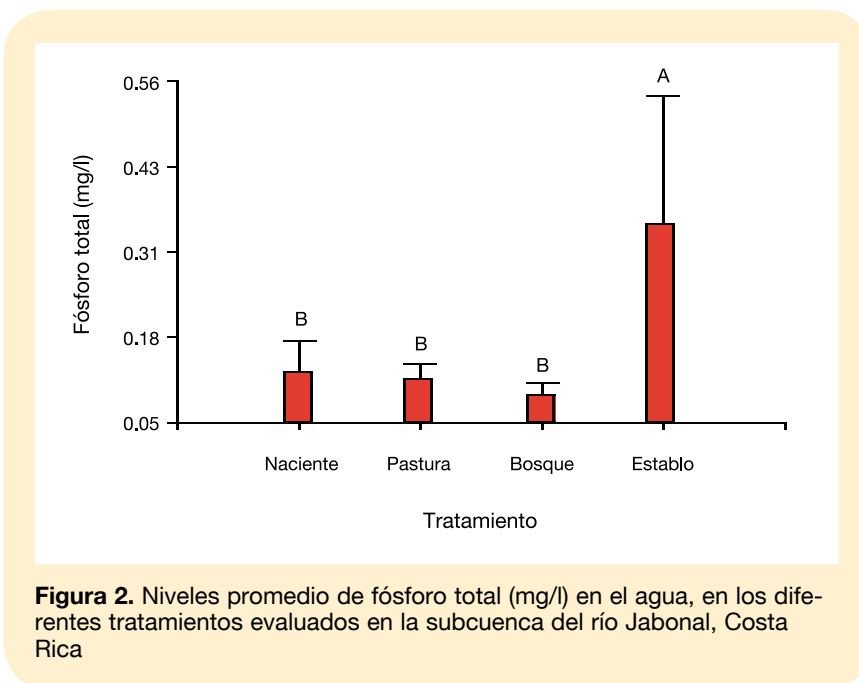
#### *Fósforo total (mg/l)*

El fósforo total presentó diferencias significativas solamente para tratamientos (Cuadro 1). En los bosques se encontró la menor concentración de fósforo (0,09 mg/l), aunque la prueba de Duncan no mostró diferencias significativas entre los tratamientos nacientes, pasturas y bosque (Fig. 2). La mayor concentración de fósforo en sitios de muestreo influenciados por los establos (0,34 mg/l) se debe posiblemente a que el estiércol y efluentes líquidos, que son muy ricos en este mineral, son lavados y arrastrados desde los establos y las viviendas, y actúan como una fuente puntual importante de contaminación del agua. Este proceso se ve favorecido por la ausencia de bosque ribereño que ayudaría a retener estos residuos (Schultz et ál. 2004).

Solamente en los bosques ribereños la concentración de fósforo en el agua fue menor al límite permitido para consumo humano para fuentes de agua superficiales (0,1 mg/l) en Costa Rica (MINAE-MINSA 2003). En los demás tratamientos, este valor supera el mínimo requerido, en las diferentes épocas de muestreo. Debido a que el agua de varias nacientes de la zona se utiliza para consumo de la población, existe el peligro de que la salud humana se vea afectada por el consumo de agua con concentraciones altas de fósforo, puesto que una concentración mayor a 1 mg/l indica niveles altos de contaminación por fósforo (Hooda et ál. 2000).

#### Nitratos (mg/l)

No se encontraron diferencias significativas en el análisis de esta variable para tratamientos, época ni en la interacción tratamiento por época (Cuadro 1). Los niveles de nitratos en todos los tratamientos y épocas de muestreo fueron en promedio inferiores a 2 m/l (Cuadro 2), el cual está por debajo del límite máximo permisible para consumo humano en aguas superficiales (5 mg/l, según MINAE-MINSA (2003)). Generalmente, la principal fuente de nitratos en las áreas de pasturas son los fertilizantes nitrogenados y el estiércol del ganado (Meneses 2003). No obstante, los suelos de la zona son deficientes en nitrógeno, por lo que la cobertura vegetal absorbe rápidamente la mayor parte de los nitratos para su crecimiento, lo que reduce la pérdida y lavado hasta los cauces de las quebradas por escorrentía superficial. Los niveles de nitratos encontrados no ofrecen problemas para la vida acuática; según Lemly (1982), las concentraciones de nitratos mayores a 25 mg/l disminuye la diversidad de especies de macroinvertebrados.



**Figura 2.** Niveles promedio de fósforo total (mg/l) en el agua, en los diferentes tratamientos evaluados en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica

#### Potencial de hidrógeno (pH)

Esta variable presentó diferencias significativas solamente entre tratamientos (Cuadro 1). Los valores promedio más altos (7,7) se presentaron en el tratamiento pasturas (Cuadro 2), aunque la prueba de Duncan mostró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos pasturas, bosques y establos con respecto a nacientes, que tuvo el promedio menor de pH (7,1). Lemly (1982) también reporta valores más altos de pH en zonas ganaderas con pastoreo permanente. En todos los tratamientos y las diferentes épocas, el pH del agua permaneció entre 7,1 y 7,7, dentro del rango de valores permisibles (6,5 a 8,5) para agua de consumo humano y para la conservación y estabilidad de los ambientes acuáticos (MINAE-MINSA 2003).

#### Coliformes totales (NMP/100 ml)

Hubo diferencias significativas solamente para tratamientos (Cuadro 1). Las nacientes presentaron la menor carga de coliformes totales (1065 NMP/100 ml) y los establos, la mayor (1760 NMP/100 ml) (Cuadro 2). La prueba de Duncan mostró diferencias entre las medias de los

tratamientos bosque, pasturas y establos con respecto al tratamiento nacientes. Los valores obtenidos en el análisis microbiológico muestran que las aguas de las quebradas no son aptas para consumo humano, la Organización Mundial de la Salud recomienda un valor máximo de 5 NMP/100 ml (OMS 2002).

El alto nivel de coliformes totales presentes de todos los tratamientos fue evidencia directa de la presencia de ganado, el pastoreo permanente con libre acceso al cauce y la descomposición de material vegetal que provee condiciones favorables para el desarrollo de todo tipo de organismos patógenos. Howell et ál. (1995) indican que áreas dentro de la corriente y aledañas al cauce se convierten en reservorios importantes de bacterias de origen animal y de descomposición de material vegetal. Chará (2003) en estudios realizados en el trópico colombiano registró niveles mayores a 40.000 NMP/100 ml de coliformes totales en zonas ganaderas. Niemi y Niemi (1991) diferencian los coliformes totales provenientes de escorrentía en suelos agrícolas y ganaderos, y sugieren que la ganadería controla-

da tiene menores efectos en la contaminación por coliformes fecales en pequeñas quebradas; sin embargo, el impacto aumenta conforme se incrementa el número de animales por hectárea.

#### *Coliformes fecales (NMP/100 ml)*

No hubo diferencias significativas entre tratamientos ni entre épocas, solamente para la interacción tratamiento por época. Posiblemente la alta variabilidad de los datos (Cuadro 2) fue la causa de que no hubiera diferencias entre tratamientos, ya que los valores variaron desde 330 hasta 1014 NMP/100 ml. Los tratamientos establos y pasturas presentan los mayores niveles de contaminación por coliformes fecales debido a la presencia de animales y la acumulación de estiércol. Howell et ál. (1995) indican que la principal fuente de contaminación por bacterias fecales en zonas rurales es la ganadería tradicional donde es común encontrar niveles mayores de 200 NMP/100 ml de coliformes fecales en áreas de pastoreo permanente. Por el contrario, los bosques atrapan sedimentos de la escorrentía superficial y actúan como barreras para el ingreso de los animales hasta las fuentes de agua, con lo que se reducen los niveles de contaminación (Niemi y Niemi 1991).

Los valores encontrados sobrepasan los niveles máximos requeridos para agua de consumo humano en Costa Rica, donde el nivel máximo permitido de coliformes es menos de 20 NMP/100 ml en aguas superficiales. Los niveles registrados de coliformes fecales permiten desarrollar únicamente actividades agropecuarias y el consumo de agua solo para animales en abrevaderos.

#### *Sólidos suspendidos (mg/l), sólidos sedimentables (mg/l) y turbiedad (UNT)*

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, épocas ni para la interacción trata-

miento por época para ninguno de los parámetros (Cuadro 1). En el caso de los sólidos suspendidos, la ausencia de diferencias entre tratamientos se debió posiblemente a la alta variabilidad de los datos, principalmente en el tratamiento pasturas, el cual triplica la carga de sedimentos con respecto a bosques, nacientes y establos (Cuadro 2). En general, los niveles de sólidos en la mayoría de los sitios excedieron el límite requerido para aguas de consumo humano en Costa Rica, pues la concentración de los sólidos suspendidos debe ser menor a 10 mg/l (MINAE-MINSA 2003). El exceso de sedimentos como producto del pastoreo continuo degrada el ecosistema acuático y disminuye la población de insectos y peces, característica observada en el monitoreo de los macroinvertebrados en este estudio. Armour et ál. (1991) asociaron la disminución de abundancia y riqueza de insectos con el incremento de sedimentos, especialmente en suspensión.

En el caso de los sólidos sedimentables, los niveles encontrados en todos los tratamientos fueron muy bajos, lo cual concuerda con la baja turbiedad del agua. En ambos casos, los niveles determinados están muy por debajo de los límites máximos permisibles para agua de consumo humano en Costa Rica (MINAE-MINSA 2003).

#### *Oxígeno disuelto (mg/l)*

Para este parámetro, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos y épocas (Cuadro 1). El tratamiento bosques presentó el agua con mayor contenido de oxígeno y el tratamiento establos el menor (Cuadro 2). En la época seca también se tuvo la menor concentración de oxígeno disuelto en agua (5,75 mg/l); se encontraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a la época lluviosa (7,34 mg/l) y al periodo de transición (6,95 mg/l).

Por las condiciones morfológicas y de composición de las quebradas con influencia de bosques, el agua tuvo más capacidad para tomar oxígeno y disponerlo en los procesos biológicos en que interviene. La mayor concentración de oxígeno se observó en la época lluviosa como efecto de mayores corrientes y el incremento de caudales en las quebradas. Por otra parte, la concentración de sólidos suspendidos en las pasturas, aunado a la disminución de corrientes rápidas y lentas y la menor cantidad de rocas presentes en el cauce, redujo la capacidad de atrapar oxígeno.

Los niveles registrados de oxígeno disuelto en los tratamientos bosque, naciente y pasturas no constituyen limitaciones para consumo humano ni para la supervivencia de grupos de organismos acuáticos, ya que en condiciones normales toleran hasta un mínimo de 6,5 mg/l de agua. En el tratamiento establo en la época seca, sin embargo, sí se presentaron niveles que pueden reducir la diversidad de organismos. El oxígeno disuelto está asociado a la DBO y a la DQO, pues los procesos de descomposición de la materia orgánica e inorgánica demandan oxígeno. Así, los niveles de oxígeno disuelto en el agua, excepto en el caso del tratamiento establos, fueron suficientes para abastecer los procesos naturales de descomposición que ocurrieron en esos escenarios.

#### *Índice de calidad del agua (ICA)*

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas para tratamientos en este parámetro compuesto (Cuadro 1). Los tratamientos bosques y nacientes presentaron mejor calidad del agua con respecto a las pasturas y los establos (Cuadro 2). Los resultados evidencian el efecto acumulativo negativo sobre la calidad del agua conforme se desciende desde la parte alta y más protegida de la subcuenca hacia la parte baja

y con mayor intervención antrópica y usos de la tierra más impactantes sobre la calidad del agua, como la ganadería. En todos los casos, los valores de ICA clasifican el agua de los diferentes tratamientos como de calidad aceptable, con tendencia a levemente contaminada.

### Población de macroinvertebrados bentónicos

El estudio de macroinvertebrados se realizó simultáneamente con el análisis físico-químico. Se consideraron ocho quebradas afluentes y el mismo río Jabonal para el monitoreo. Se recolectaron organismos bentónicos en 29 sitios. Se tomaron un total de 65 muestras: 12 en nacientes, 19 en bosques ribereños, 29 en pasturas y 5 en establos, distribuidas entre las tres épocas: seca, transición y lluviosa. Durante el estudio se recolectaron 6084 individuos, agrupados en 17 órdenes, 53 familias y 89 géneros de macroinvertebrados acuáticos. El mayor número de individuos registrado fue en el tratamiento pasturas (33%) y el menor el tratamiento nacientes, posiblemente como efecto del menor caudal observado.

En la época de transición se encontró el mayor número de individuos (3060); las familias predominantes fueron Baetida, Leptohiphidae, Hydropsichidae, Ptylodactilidae, Amphipodae, Simuliidae, Chironomidae, Tipuliidae, Belostomatidae. Estas familias por lo general se encuentran en aguas ligeramente contaminadas, con moderada presencia de oxígeno y materia orgánica en descomposición. En la época seca se registraron solamente 603 individuos, lo cual podría deberse al menor número de sitios muestreados.

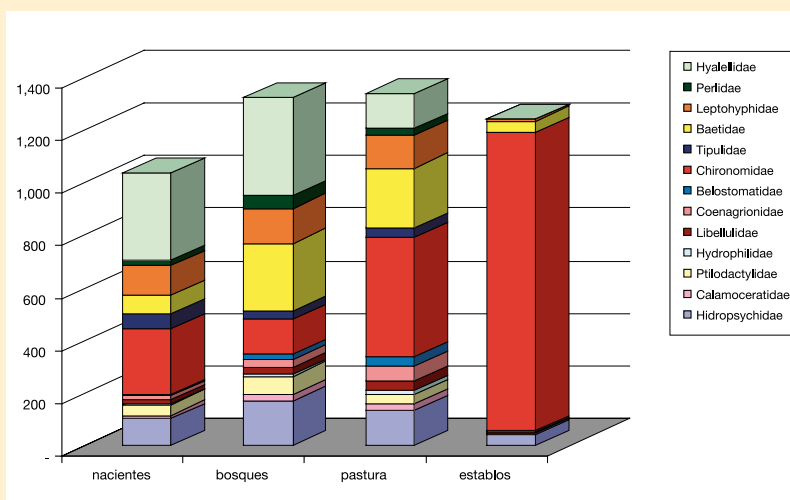
Las familias predominantes en las nacientes fueron Hyalellidae, Baetidae e Hydropsichidae, comunes en ecosistemas con predominio de corrientes lólicas; los especímenes se encontraron adheridos a rocas y sitios con vegetación en

descomposición, característica de las nacientes con bosques ribereños. En menor cantidad se encontró la familia Perlidae, la cual es la mejor indicadora de ambientes acuáticos saludables, agua limpia y con mayor diversidad de hábitats. Esta familia se encontró en mayor número en los bosques ribereños. Además, se encontraron las familias Hydropsichidae, Coenagrionidae, Baetidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae, Ptilodactilidae, típicas de aguas lólicas y lólicas, debajo de troncos, piedras y orillas con vegetación, indicadores de aguas con buena y mediana calidad.

En las pasturas predominaron las familias Chironomidae, Simuliidae, Tipulidae, características de aguas con menor cantidad de oxígeno que toleran la contaminación orgánica. Algunos géneros de estas familias se pueden encontrar en aguas muy contaminadas y en aguas limpias.

La Fig. 3 muestra la presencia de algunas familias de organismos bentónicos y su variación según el uso de suelo. La familia Hyalellidae se encuentra en mayor número en las nacientes y en los bosques ribereños; sin embargo, su presencia disminuye

a medida que la contaminación se incrementa, aunque estos organismos pueden adaptarse a diferentes niveles de contaminación. La familia Perlidae (sensible a contaminación) se encuentra en mayor número en los bosques ribereños, aunque también se la observó en menor número en nacientes, debido al bajo caudal y por consiguiente menor concentración de oxígeno. Esta familia también apareció en pastura, posiblemente arrastrados desde el bosque ribereño por el caudal. La familia Chironomidae, indicadora de contaminación orgánica, se encontró en mayor número en los establos y pasturas, y en menor cantidad en las nacientes y bosques ribereños. La familia Hydropsichidae se encuentra presente en aguas lólicas, características de los bosques ribereños y de las pasturas (Roldán 2003). Las familias Baetidae y Leptohiphidae se encuentran en aguas con mediana contaminación, con materia orgánica y aguas lólicas; se encontraron en cantidades similares en pasturas y bosques ribereños, sin embargo, su intolerancia a la alta contaminación hizo que casi no se encontraran en los establos.



**Figura 3.** Familias de organismos bentónicos más representativas en diferentes sitios de muestreo de las quebradas de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica



Al analizar estadísticamente la variación entre el número de familias de macroinvertebrados, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,45$ ) ni entre épocas ( $p=0,863$ ). El tratamiento bosques presentó el mayor número promedio de familias (14,9), seguido de nacientes (13,6), pasturas (12,1) y establos (10,1). El mayor número de familias de macroinvertebrados en bosques se debe, posiblemente, a la estabilidad del hábitat, material vegetal presente, características químicas y mayor caudal. El número de familias encontradas por época varió muy poco: 12,3 en la época seca, 13,0 en la lluviosa y 13,2 en la época de transición.

En las nacientes se observó un número máximo de 246 individuos, valor que estuvo afectado por el mínimo caudal observado en la época seca. En los bosques se contaron individuos en el rango de 109 a 489, valores beneficiados por la mayor presencia de corrientes rápidas y lentas y la formación de pozas o piscinas, así como la disponibilidad de sustrato (arena, grava, hojas, etc.) para formar hábitats.

En las pasturas, la abundancia de insectos varió de 109 a 556 individuos y fue el tratamiento con más registro de organismos, debido principalmente a la presencia de los órdenes Diptera y Ephemeroptera. En los establos se encontraron de 356 a 1026 individuos, y predominaron los dípteros. Esto demuestra que a mayor contaminación y deterioro de hábitats, menor diversidad de especies y mayor número de individuos por especie.

#### Análisis de calidad del agua y de macroinvertebrados aplicando el índice biológico BMWP-CR

La Fig. 4 muestra la variación del índice BMWP-CR entre tratamientos. Los bosques y las nacientes presentaron un nivel de contaminación moderada, con agua de calidad regular (color verde). Aguas abajo, donde no existe una franja de bosque ribere-

ño y donde el impacto de actividades antrópicas es mayor (tratamientos pasturas y establos), la contaminación de las aguas aumenta hasta alcanzar un nivel de mala calidad (color amarillo), no recomendable para consumo humano. Las aguas de buena calidad deben tener valores de BMWP-CR entre 101 y 120 y las de excelente calidad valores mayores a 120 (Bartram y Ballance 1996). En cuanto a épocas, se pudo observar que en la medida en

que se incrementó la lluvia, el nivel de calidad del agua mejoró debido posiblemente al efecto de la dilución de los contaminantes.

Para analizar los cambios de la composición de macroinvertebrados entre los diferentes escenarios y periodos de muestreo, se realizó un análisis multivariado por conglomerados. Los resultados mostraron dos grupos (Fig. 5). Para el análisis se incluyeron los tratamientos: nacien-

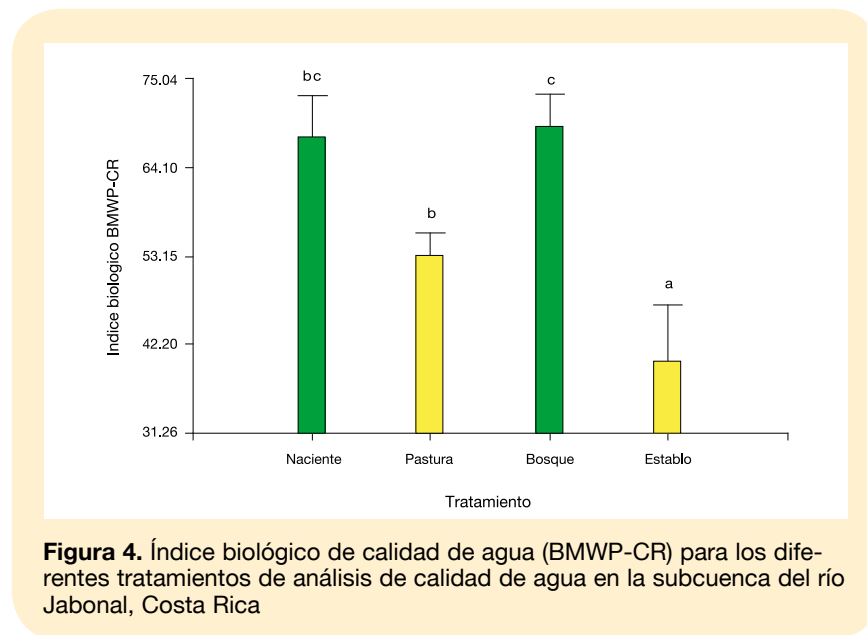


Figura 4. Índice biológico de calidad de agua (BMWP-CR) para los diferentes tratamientos de análisis de calidad de agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica

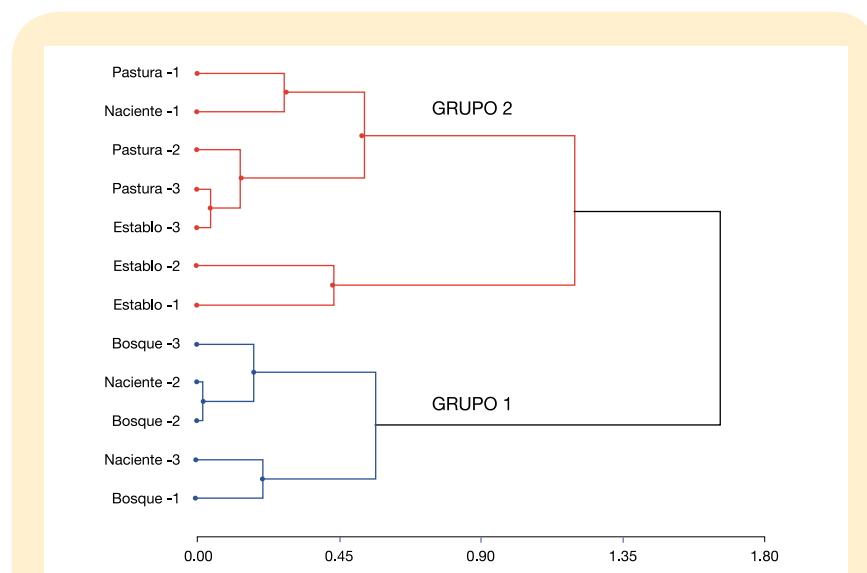


Figura 5. Análisis de conglomerados para el índice de calidad del agua BMWP-CR, subcuenca del río Jabonal, Costa Rica

tes, bosques, pasturas y establos; además se incluyó la época para cada tratamientos, seca (1), transición (2) y lluvia (3). El grupo 1 se conformó así: bosques-3, bosques-2, nacientes-2, nacientes-3 y bosque-1. El grupo 2 se conformó por pastura-1, nacimiento-1, pastura-2, pastura-3, establo-3, establo-2 y establo-1.

En el grupo 1 se encontraron familias del orden Trichoptera, como: Leptoceridae (*Nectopsyche* sp.), Philopotamidae, (*Chimarra* sp.), Hydropsichidae (*Smicridea* sp.), Hydroptilidae (*Ochotrichia* sp.), (*Hydroptila* sp.). Del orden Odonata, se encontraron las familias siguientes: Libellulidae (*Brenthmoroga* sp.) y Gomphidae (*Progomphus* sp.); del orden Megaloptera, la familia Corydalidae (*Corydalis* sp.); del orden Coleoptero se encontró la familia Elmidae (*Noelmis* sp.), del Lepidoptero, la familia Pirlidae (*Petrophila* sp.); y del Díptero, la familia Stratiomyidae (*Stratiomyidae* sp.).

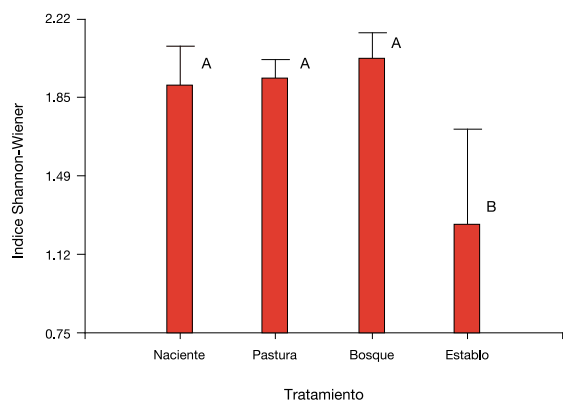
En el grupo 1 se ubicaron los bosques ribereños en sus tres épocas de muestreo y las nacientes en la época de transición y lluviosa. Philopotamidae (*Chimarra* sp.) se encuentra en corrientes lénticas y

fondos pedregosos, indicadores de aguas oligotróficas (Roldán 2003). Gomphidae tiene un rango estrecho de tolerancia, lo cual puede significar un indicio de que las condiciones en el sedimento no son del todo desfavorables, aunque pueden existir factores de alteración menores, lo cual podría notarse en la cantidad de individuos encontrados (Guerrero et ál. 2003). Corydalidae vive en aguas corrientes y limpias, debajo de troncos y vegetación, indicadoras de agua oligotrófica o levemente mesotrófica (Roldán 1988).

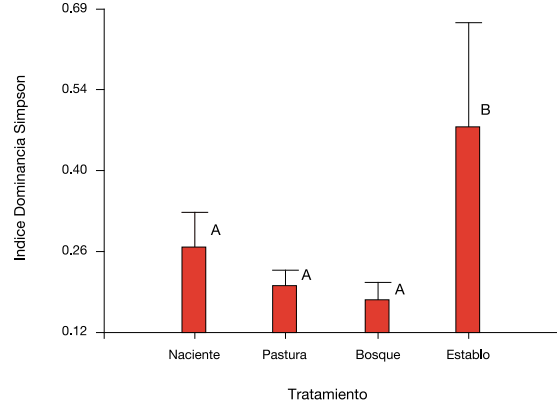
En el grupo 2 se agruparon las pasturas y los establos en sus tres épocas de muestreo, además de una nacimiento en la época seca. Las familias mejor representadas fueron: Pseudothelphusidae (*Hypolobocera* sp.) del orden Crustacea, Tabanidae (*Chrysops* sp.) y Culicidae (*Anopheles* sp.) del orden Díptera, Glossiphonidae (*Glossiphonidae* sp.) del orden Hirudiniforme. Las familias presentes en este grupo predominan en sitios con aguas lénticas, soportan niveles bajos de oxígeno, presencia de materia orgánica en descomposición y se adhieren a sustratos como hojas, ramas y tallos (Roldán 1988).

### Índice de diversidad de Shannon-Wiener e índice de dominancia de Simpson

El índice de Shannon-Wiener está basado en el concepto de equidad, el cual expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies presentes en la muestra (Magurran 1988). Este índice asume que todos los individuos son seleccionados al azar y todas las especies tienen representación en la muestra. Cuando los valores se acercan a cero significa que hay una sola especie, y cuando los valores se alejan de cero existe mayor diversidad de especies. La mayor diversidad según Shannon-Wiener se registró en los bosques ribereños (2,07), aunque no hubo diferencias significativas con respecto a los tratamientos pasturas y nacientes, pero sí con respecto al tratamiento establos (Fig. 6). En término de calidad del agua, todos los valores obtenidos están entre 1 y 3 y corresponden a la clasificación de aguas ligeramente contaminadas (Wilhm y Dorris 1968). La mayor diversidad se encontró en la época seca, debido a la estabilidad de los sustratos colonizados, menor pérdida de material vegetal y disminución de corrientes fuertes que pueden arrastrar a los organismos.



**Figura 6.** Índice de diversidad Shannon-Wiener para los diferentes tratamientos de evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica



**Figura 7.** Índice de dominancia de Simpson para los diferentes tratamientos de evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica


El índice de dominancia de Simpson está basado en la dominancia de especies en una comunidad, y toma en cuenta la representatividad de especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución de las demás especies (Magurran 1988). La mayor diversidad y riqueza de taxa, según el índice de Simpson, se presentó en el tratamiento bosques, correspondiente con zonas de abundante vegetación y sustratos más homogéneos, aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas con respecto a los tratamientos pasturas y nacientes, pero sí con respecto a establos (Fig. 7). Entre épocas también hubo diferencias; la época seca presentó mayor diversidad en cuanto a la dominancia de especies (menor índice de dominancia de Simpson), aunque no fue estadísticamente diferente de la época lluviosa, pero sí con respecto al periodo de transición.

## Conclusiones

La calidad del agua a nivel físico-químico tuvo alteraciones importantes debido al cambio de uso de suelo, factor principal que influye en la vulnerabilidad del recurso. A la medida que disminuye la franja ribereña de las microcuencas y se incrementa el área de pasturas-ganadería, con el consecuente acceso de los animales al cauce, también aumenta el aporte de materia contaminante. Sin embargo, la mayoría de los parámetros no presentaron diferencias entre épocas climáticas.

Los parámetros de calidad de agua que excedieron el nivel crítico para consumo humano fueron la demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos, el fósforo total y coliformes fecales y totales. En monitoreos futuros y en la planificación de acciones de manejo de la subcuenca, estos parámetros deberían recibir atención prioritaria.

En el tratamiento bosques ribereños, el agua tiene menor concentración de coliformes fecales, sólidos suspendidos, nitratos y fósforo total, por la capacidad del ecosistema de retener sedimentos que circulan en el cauce. Asimismo, en este tratamiento se observó la mayor diversidad de macroinvertebrados bentónicos. Estos resultados debieran propiciar acciones de recuperación de los bosques ribereños.

El índice biológico BMWP-CR proporcionó información rápida sobre el estado del ecosistema acuático y los factores que lo perturban; por su bajo costo y facilidad de aplicación puede ser utilizado para un programa permanente de monitoreo de la calidad del agua en las cuencas. 

## Literatura citada

- Armour, J; Wetzel, RG; Likens, GE. 1991. *Limnological Analyses*. New York, US Springer-Verlag. Ed. 2. 392 p.
- Auquilla Cisneros, RC. 2005. *Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 123 p.
- Bartram, J; Ballance, R. 1996. *Water quality monitoring; a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Londres, UK, UNEP/WHO. 383 p.
- Benfield, EF; Niederlehner, BR. 1987. Efecto de la polución sobre invertebrados de agua dulce. *Water Science Technology* 19(11): 107-112.
- Bremmer, CN. 1989. Highland-lowland interactions in the Ganges-Brahmaputra river basin: A review of published literature. Kathmandu. 45 p. (ICIMOD Occasional Paper no. 11).
- Cairns, J; Dickson, KL. 1971. A simple method for the biological assessment of the effects of the waste discharges on aquatic bottom-dwelling organism. *Journal Water Pollution Control Federation* 43(5): 755-772.
- Chará, J. 2003. *Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas*. Cali, CO, CIPAV. 52 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1996. *Control of water pollution from agriculture*. Rome, IT. 101 p. (FAO Irrigation and Drainage Papers Vol. no. 55).
- Guerrero, F, Manjares, A, Núñez, N. 2003. Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana* 8(2): 43-56.
- GWP (Global Water Partnership, CR). 2004. *Régimen del recurso hídrico; el caso de Costa Rica*. San José, CR, GWP. 55 p.
- Hooda, P; Edwards, A; Anderson, H; Miller, A. 2000. A review of water quality concerns in livestock farming areas. *The Science of the Total Environment* 250:143-167.
- Howell, JM; Coyne, MS; Cornelius, R. 1995. Fecal bacteria in agricultural waters of the bluegrass region of Kentucky. *Journal of Environmental Quality* 24:411-419.
- IWD (Inland Water Directorate, Canada). 1979. *Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters*. Ottawa, Canada, Water Quality Branch. 68 p.
- Lemly, D. 1982. Modification of benthic insect communities in polluted streams: combined effects of sedimentation and nutrient enrichment. *Hidrobiología* 87: 229-245.
- Magurran, A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, US, Princeton University Pres. 179 p.
- Meneses, JL. 2003. *Calidad del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones, cuenca del Canal, Panamá*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE/UCR. 74 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR) - MINSA (Ministerio de Salud, CR). 2003. *Propuesta de reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales de Costa Rica*. San José, CR. 22 p.
- Murgüeitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapato, A; Mejía, C; Casasola, F. 2003. *Uso de la tierra en fincas ganaderas; guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto "Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas"*. Cali, CO, CIPAV. 97 p.
- Niemi, R; Niemi, J. 1991. Bacterial pollution of waters in pristine and agricultural lands. *Journal of Environmental Quality* no. 20:620-627.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2002. *Conferencia sobre la evaluación y estrategias de gestión de recursos hídricos en América Latina y el Caribe*. San José, CR. 23 p.
- Roldán, G. 1988. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Antioquia, CO, Editorial Presencia. 217 p.
- \_\_\_\_\_. 2003. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia; uso del método BMWP/Col*. Antioquia, CO, Universidad de Antioquia. 170 p.
- Schultz, R; Isenhardt, I; Simpkins, W; Colleti, J. 2004. *Riparian forest buffers in agroecosystems. Lesson learned from the bear Creek Watershed, Central Iowa*. *Agroforestry Systems* 61:35-50.
- Wilhm, JL; Dorris, TC. 1968. Biological parameters of water quality. *Bioscience* 18: 477-481.

# Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Honduras<sup>1</sup>

**Ramón Antonio Salgado**

*rsalgado@catie.ac.cr*

**Sergio Velásquez**

*CATIE. svelasqu@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez**

*CATIE. fjimenez@catie.ac.cr*

**Jorge Faustino**

*CATIE. faustino@catie.ac.cr*

La microcuenca del río Gila presenta niveles altos de vulnerabilidad global ante las amenazas de deslizamientos e inundaciones. La mayor vulnerabilidad se da en la parte técnica, institucional, educativa, económica y física. Es necesaria la participación de la población para lograr que las medidas que se deban tomar en la microcuenca tendientes a lograr el buen manejo, y a reducir la vulnerabilidad tengan éxito.

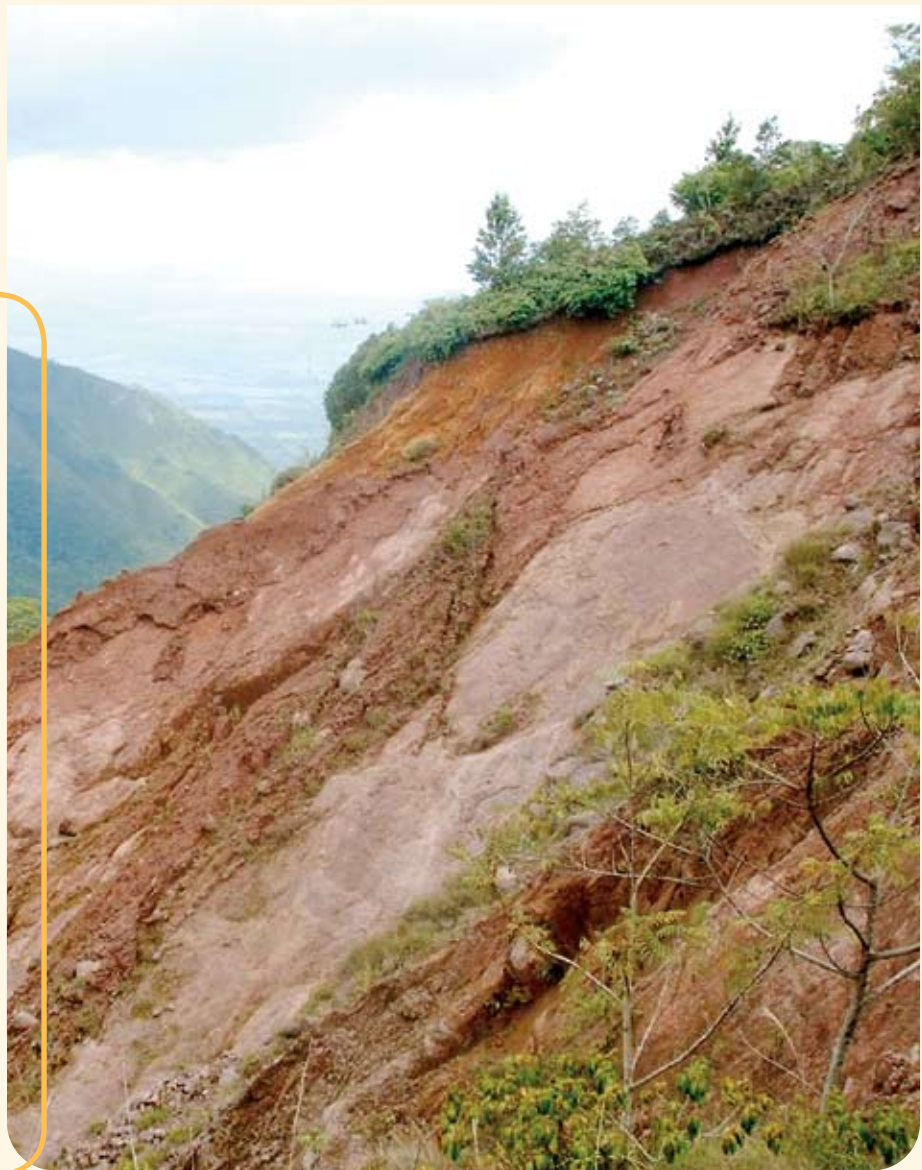


Foto: Wilmer Reyes.

<sup>1</sup> Basado en Salgado, R.A. 2005. Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba. CR. 172 p.



## Resumen

Esta investigación se realizó en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras, con el fin de precisar la vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones. La metodología incluyó la determinación de la vulnerabilidad global, la identificación participativa de amenazas mediante mapeo comunitario, la identificación de áreas críticas y estimación del riesgo a deslizamientos e inundaciones mediante modelación hidrológica e hidráulica, la integración espacial de la vulnerabilidad y las áreas críticas, la jerarquización de zonas con mayor riesgo y la propuesta de lineamientos y acciones concretas para la prevención de desastres. La microcuenca presenta una vulnerabilidad alta para ambas amenazas analizadas (inundaciones 64,6% y deslizamientos 68,6%). Los componentes técnicos, institucionales y educativos presentaron los valores más altos. El mapeo comunitario del riesgo mostró bastante similitud con lo elaborado por SIG. La principal diferencia fue que los habitantes marcaron lugares muy puntuales donde el efecto era muy visible o actual; el SIG, en cambio, permite definir otras zonas que no se pueden determinar a simple vista. Se recomienda la implementación de un programa de prevención de desastres y gestión del riesgo basado en el apoyo a iniciativas que propicien los cambios estructurales y culturales necesarios para el fortalecimiento institucional en la gestión del riesgo, ordenamiento del territorio y manejo de cuencas.

**Palabras claves:** Microcuencas; deslizamiento de tierras; inundación; desastres naturales; vulnerabilidad; riesgo; Honduras.

## Summary

**Landslide and flood risk analysis in Gila River micro-watershed, Honduras.** The research was carried out in Gila River micro-watershed, Copán, Honduras, with the aim of defining vulnerability to landslide and flood. The methodology included: determination of global vulnerability, participative identification of threats by means of community mapping, critical areas identification, landslide and flood risk estimation through hydrologic and hydraulic modeling, spatial integration of vulnerability and critical areas, prioritization of highest risk zones, and proposed guidelines and actions for disaster prevention.

The micro-watershed is highly vulnerable to both threats (floods 64.6% and landslides 68.6%). Technical, institutional and educational components showed the highest values. The community risk map was very similar to the one generated by GIS. The main difference was that settlers pointed out very specific places where effects were evident; GIS can determine places not obvious at a first sight. A disaster prevention and risk management program should be implemented to promote structural and cultural changes that strengthen governance in risk management, land use planning and watershed management.

**Keywords:** Microwatersheds; landslides; flooding; natural disasters; vulnerability; risk; Honduras.

## Introducción

Los fenómenos naturales han estado presentes durante toda la evolución del planeta y, hoy en día, causan mucho daño y pérdidas en vidas humanas, económicas y alteraciones al ambiente. En Centroamérica, fenómenos como el huracán Mitch han provocado la destrucción de importantes centros poblados, carreteras, tierras de cultivo y viviendas, y han puesto en evidencia la vulnerabilidad natural del ambiente (CEPAL 2000). Las inundaciones y los deslizamientos, provocados por la mala gestión de la tierra, prácticas agrícolas inadecuadas, pastoreo excesivo y deforestación, han causado devastación en la región.

La gestión integrada de cuencas se basa en los enfoques ecosistémico y socioambiental, y busca desarrollar procesos a largo plazo en procura de la sostenibilidad de los recursos naturales. En estos enfoques, la cuenca hidrográfica es la unidad básica de planificación, manejo y gestión. En Centroamérica, el manejo y gestión de cuencas hidrográficas está estrechamente relacionado con la reducción de la vulnerabilidad y riesgo a desastres naturales. Por sus características geográficas, geológicas, geomorfológicas, climáticas y socioeconómicas, la región es altamente vulnerable a los desastres. El manejo de cuencas tiene, entonces, como eje fundamental la reducción de la vulnerabilidad, principalmente la asociada a fenómenos hidroclicmáticos como inundaciones, deslizamientos, avalanchas y sequías (Jiménez et ál. 2004).

El objetivo del estudio fue realizar un análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras, ya que la zona urbana del municipio de Cabañas se localiza en áreas amenazadas por inundaciones y deslizamientos en la microcuenca. La fuerte erosión y arrastre de partículas se evidencian en el alto

nivel de sedimentación observada en los dos vertederos construidos en las microcuencas de los ríos Gila y Copán. Con frecuencia, los deslizamientos, hundimientos y derrumbes en época de lluvias alteran o impiden el desplazamiento por carreteras y caminos. En consecuencia, la microcuenca, su población y el ambiente enfrentan una situación que pone en peligro las vidas humanas y amenaza con la destrucción de la infraestructura actual, los recursos naturales y los cultivos. Es urgente, entonces, tomar decisiones técnicamente fundamentadas para paliar la situación.

## Metodología

La investigación se realizó en la microcuenca del río Gila, localizada en el departamento de Copán, entre 14°43'00" y 14°58'00" Norte, y entre 88°53'00" y 89°14'00" Oeste (Fig. 1). La microcuenca abarca la totalidad del territorio del municipio de Cabañas. Su extensión se estima en 130,5 km<sup>2</sup> y pertenece a la subcuenca del río Copán, que a su vez, forma parte de la cuenca del río Motagua, en la región fronteriza entre Honduras y Guatemala.

## Organización de la investigación

El estudio constó de tres fases para la recopilación, análisis e interpretación de la información. En la primera fase se recolectó información secundaria,

se elaboró el proyecto de estudio y se presentó a la Corporación Municipal del municipio de Cabañas, a las instituciones públicas y privadas presentes en la zona y a las comunidades. Este primer acercamiento también sirvió para iniciar la recuperación de información en las diferentes comunidades, seleccionar actores interesados en participar en los talleres que se desarrollarían posteriormente y establecer contacto con técnicos de las diferentes instituciones presentes en la zona. Además, en esta fase se empezó a elaborar la cartografía base para los análisis de vulnerabilidad y amenazas.

La segunda fase consistió en la recolección de información primaria; para ello, se utilizaron métodos y técnicas diversas, como los talleres participativos, ejercicios grupales y encuestas. La tercera fase consistió en el análisis de resultados; se consideraron los siguientes aspectos: a) determinación de la vulnerabilidad global a deslizamientos e inundaciones; esta información se recuperó mediante talleres y encuestas que ayudaron a identificar los indicadores biofísicos y socioeconómicos; b) definición de áreas críticas a deslizamientos e inundaciones (modelación hidrológica e hidráulica); c) identificación participativa de las amenazas a través del mapeo comunitario; d) definición del riesgo a

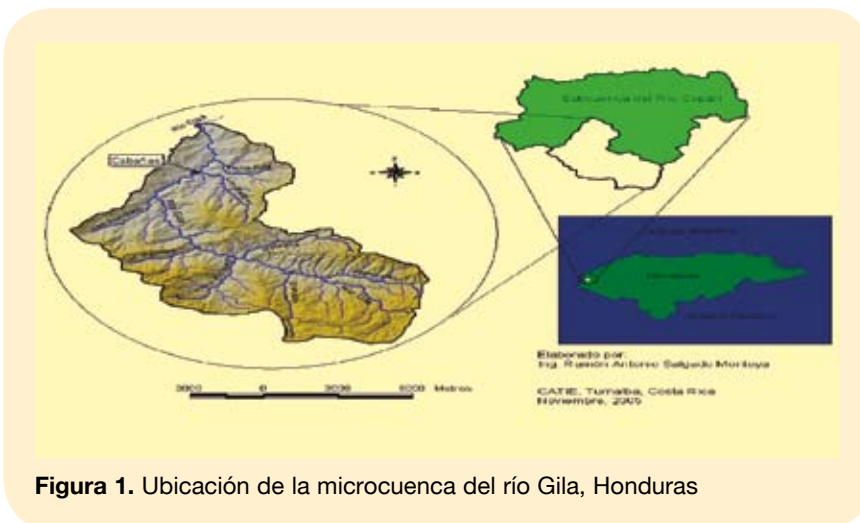


Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río Gila, Honduras

inundaciones y deslizamientos en la microcuenca a través de la integración de la vulnerabilidad global a las áreas críticas; para ello se utilizó el SIG como herramienta de análisis; e) jerarquización de las zonas con mayor riesgo a inundaciones y deslizamientos, y f) propuesta de lineamientos y acciones concretas para la prevención de desastres.

#### Determinación de la vulnerabilidad global

Según Wilches-Chaux (1993), hay diferentes tipos de vulnerabilidad global: social, económica, política, institucional, ideológica, cultural, educativa, física, técnica, ecológica. Para evaluar la vulnerabilidad en la microcuenca del río Gila, se identificaron todos los elementos que pudieran estar en riesgo bajo una amenaza particular. La información se recuperó mediante entrevistas con preguntas específicas a los informantes claves y representantes de instituciones que trabajan en actividades relacionadas con el tipo de vulnerabilidad. Se empleó el mismo enfoque metodológico utilizado en varios estudios realizados por el CATIE en diferentes cuencas de América Central (Cáceres 2001, Buch 2001, Meléndez 2001, Rivera 2002, Gómez 2003, Parra 2003, Reyes 2003, Jiménez et ál. 2004, Salgado 2005). Según este enfoque, para cada uno de los tipos de vulnerabilidad se deben identificar indicadores representativos de la microcuenca. En la microcuenca del río Gila, se seleccionaron indicadores para inundaciones y deslizamientos. Unos indicadores son medibles cuantitativamente y otros cualitativamente; entonces, para lograr uniformidad en el análisis de los mismos, se estandarizaron las variables que contienen a cada uno de los indicadores. Para ello, se determinó el grado de influencia que los distintos valores (variable observada) tienen en el indicador para obtener un determinado nivel

de severidad en la vulnerabilidad; es decir que entre mayor sea el aporte del indicador a la vulnerabilidad, mayor será el valor estandarizado. Se propone una ponderación lineal con valores de 0 – 4, donde 0 es la menor vulnerabilidad y 4 la mayor.

El cálculo de cada tipo de vulnerabilidad en la microcuenca se realizó con base en el procedimiento que se detalla a continuación:

- Se suman los valores de los índices de calificación correspondiente a cada una de las variables o indicadores considerados, luego de su ponderación.
- El valor resultante se divide entre el número total de índices para obtener un índice promedio.
- El índice promedio se divide entre el valor máximo posible del índice (4) y se multiplica por cien para obtener el nivel de vulnerabilidad en porcentaje de la microcuenca para cada tipo de vulnerabilidad correspondiente.
- Este porcentaje se compara con la siguiente escala de vulnerabilidad:

Vulnerabilidad (%)	Caracterización
0-19,9	Muy baja
20-39,9	Baja
40-59,9	Media
60-79,9	Alta
80-100	Muy alta

#### Determinación de las amenazas

Con la ayuda del Sistema de Información Geográfica (SIG) se crearon mapas de amenazas según un esquema de clasificación cualitativo y con énfasis en inundaciones y deslizamientos. A continuación se detallan los pasos metodológicos seguidos para obtener los mapas de amenazas.

#### Amenaza de inundaciones

Esta amenaza fue evaluada en tres fases: 1) Cálculo de caudales pico para cada una de las microcuencas que forman el río Gila, mediante los programas HEC-HMS e HidroEsta.

2) Determinación de las planicies de inundación mediante el programa HEC-RAS, extensión Hec-GeoRas, combinado con ArcView 3.3. 3) Definición de las planicies de inundación según diferentes periodos de retorno (2, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años), mediante ArcView. A continuación se describe cada una de las fases.

#### Modelación hidrológica (cálculo de caudales máximos)

Para el análisis se utilizó el modelo hidrológico HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System*), el cual permite simular el escurrimiento superficial en la cuenca de un río, como producto de una precipitación. La microcuenca se representa como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos; cada componente modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca. La representación de un componente requiere de un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico. El resultado del proceso de la modelación es el cálculo de los hidrogramas del flujo en sitios elegidos de la cuenca. Para la modelación hidrológica se tomaron en cuenta los afluentes permanentes del río Gila: Tierra Fría, Los Salitres, San Francisco, Los Ingenios, El Cerro o Río Negro, Motagua, El Prado y Platanares.

La modelación hidrológica con HEC-HMS requiere lo siguiente:

- Modelo de la cuenca: contiene parámetros y datos conectados con elementos hidrológicos.
- Modelo meteorológico: para el cálculo de la precipitación máxima se emplearon datos meteorológicos de la estación La Entrada, la más cercana al área de estudio; se usó, además, el análisis estadístico Log Pearson tipo III y la tormenta de diseño.

- Especificaciones de control: hora de inicio y finalización de la simulación.

### Modelación hidráulica (definición de las planicies de inundación)

La modelación hidráulica se desarrolló con el modelo HEC-RAS y la extensión de ArcView Hec-GeoRas. Dicha modelación consideró, al igual que la modelación hidrológica, los principales afluentes de la microcuenca del río Gila. El procedimiento de modelación incluye los siguientes pasos:

1. Trabajo previo en ArcView: elaboración, por medio de Hec-GeoRas, de una serie de ficheros que formaron parte del archivo de importación procesado por HEC-RAS. Estos ficheros contienen información de las secciones transversales.
2. Trabajo en HEC-RAS: procesamiento de la información del fichero de importación de ArcView, información del índice de rugosidad “n” de Manning, introducción de otras secciones transversales y datos de flujo, ejecución del modelo y creación del fichero de exportación para ArcView.
3. Trabajo final en ArcView: procesamiento del fichero de exportación de HEC-RAS y generación de las planicies de inundación en la microcuenca del río Gila.

### Amenazas de deslizamientos

Se tomaron en cuenta cuatro factores críticos que inciden de manera directa en la vulnerabilidad a deslizamientos: la intensidad de uso del suelo, la cobertura vegetal, la pendiente y la precipitación. La distribución espacial de los cuatro factores se realizó con ArcView 3.3 (extensiones *Spatial Analysis* y *Model Builder*); para cada factor crítico se definieron los indicadores, se clasificaron cualitativamente y se les dio una valoración. El análisis incluyó también el reconocimiento de campo y caracterización de los peligros derivados de

terrenos inestables mediante el análisis geomorfológico y uso de mapas, fotos aéreas y ortofotos.

### Mapeo participativo y gestión del riesgo

Con el fin de concretar propuestas de acción ajustadas a necesidades sentidas, se desarrolló un proceso de investigación participativa mediante el trabajo con colectivos, asociaciones, grupos comunales y otros actores del municipio. Con ello se buscaba motivar la vinculación ciudadana y favorecer la creatividad social en beneficio de la comunidad local. El enfoque de participación usado fue “mapas participativos de riesgo”. Este procedimiento busca la elaboración del conocimiento sobre un objeto de estudio, que sea útil socialmente y que permita la implementación de planes de acción integral, donde la participación ciudadana plena y consciente sea el eje articulador.

El mapa participativo registra en forma gráfica los diferentes componentes de un área de estudio, los ubica y describe en el espacio y en el tiempo, y documenta las percepciones que los pobladores tienen sobre el estado, su distribución y manejo.

Con la colaboración de actores locales claves que participaron durante todo el proceso, se validaron los resultados obtenidos, se programaron las acciones necesarias para reducir la vulnerabilidad y el riesgo a deslizamientos e inundaciones y se definieron lineamientos para la gestión del riesgo en la microcuenca del río Gila.

### Resultados y discusión

#### Evaluación de la vulnerabilidad global a deslizamientos

El Cuadro 1 muestra los resultados de vulnerabilidad a deslizamientos en la microcuenca del río Gila. Tres componentes de la vulnerabilidad presentan índices muy altos: técnica, educativa e institucional. Uno de los principales problemas técnicos encontrados es que los puentes y las obras de reducción de riesgo no están cumpliendo con su función; por ejemplo, el puente que comunica a Cabañas con las demás comunidades se encuentra en mal estado, y el dissipador de energía ubicado en las proximidades de la confluencia del río Gila con el río Copán se encuentra cubierto con sedimento. Esto refleja el poco (o nulo) mantenimiento que reciben las obras.

**Cuadro 1.** Análisis de vulnerabilidad global a deslizamientos en la microcuenca del río Gila, Honduras

Tipo de vulnerabilidad	Promedio por vulnerabilidad	Vulnerabilidad existente (%)	Caracterización de la vulnerabilidad
Física	2,36	58,88	Media
Social	1,69	42,23	Media
Ecológica	2,68	67,05	Alta
Económica	3,10	77,56	Alta
Política	1,33	33,33	Baja
Técnica	3,82	95,45	Muy alta
Ideológica	1,35	33,71	Baja
Cultural	2,55	63,64	Alto
Educativa	3,46	86,49	Muy alta
Institucional	3,50	87,58	Muy alta
Vulnerabilidad global a deslizamientos	2,58	64,59	Alta



La vulnerabilidad educativa es también muy alta debido, principalmente, a que la mayor parte de la población no conoce sobre aspectos de prevención de riesgos. El índice de desarrollo humano en el municipio de Cabañas es de 0,437, la tasa de analfabetismo es de 44,4% y el logro educacional promedio es de 0,376. Cabañas es el segundo municipio con mayores problemas educativos en el departamento y ocupa la posición 277 a nivel nacional. El único centro educativo básico del municipio está en el casco urbano; en consecuencia, los niños y jóvenes no tienen muchas posibilidades de educarse pues la mayoría no cuenta con las condiciones económicas para cubrir gastos de alimentación, hospedaje y transporte. El municipio no cuenta con instituciones de educación secundaria ni universitaria.

La vulnerabilidad institucional resultó también muy alta porque no existe un plan de prevención de desastres; ninguna de las instituciones que trabajan en el municipio tiene un componente de reducción del riesgo. Recientemente, algunas instituciones, ONG y proyectos han iniciado acciones en la zona; tal es el caso del Programa Innovación, Aprendizaje y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas (Focuecas II), la Comisión de Acción Social Melonita (CASM), la Comunidad Hábitat y Financiamiento (CHF), el Proyecto Norte de Copán y la Municipalidad de Cabañas. Así, la CASM viene trabajando en la creación del Comité de Emergencia Municipal, con la colaboración de las instituciones presentes en la zona, y CHF busca establecer un sistema de alerta temprana.

La vulnerabilidad ecológica es alta en la microcuenca. El café es el principal cultivo y cubre el 49,1% del área total de la microcuenca; el área ocupada por pastos y otros cultivos representan el 50,9% del área total. En la zona se practica la

agricultura migratoria; además, en los cultivos no se implementan prácticas adecuadas de conservación de suelos. Este tipo de vulnerabilidad es la que potencialmente tiende a incrementarse por falta de tierras para cultivo y la presión sobre el bosque para extraer leña y aumentar el área de cultivo.

La microcuenca presenta una vulnerabilidad económica alta. Unas pocas familias se dedican al cultivo de café y crianza de ganado. El resto de la población posee cultivos de subsistencia (maíz y frijol); como única entrada de recursos, las familias se dedican al corte de café en la temporada de cosecha. No hay diversificación agropecuaria ya que los pobladores no conocen las tecnologías apropiadas ni tienen los recursos económicos para adoptar una producción diversificada que les ayude a mejorar sus niveles de vida. El 81% de los hogares del municipio tienen necesidades básicas insatisfechas, y el 72% tiene dos o más necesidades básicas insatisfechas. Gran parte de las comunidades (una población aproximada de 3467 habitantes) no cuentan con servicio de agua potable; únicamente el casco urbano de Cabañas tiene servicio de alcantarillado sanitario, por lo que 6638 personas aproximadamente viven en condiciones insalubres.

La vulnerabilidad cultural también es alta. Esto se debe a la poca participación de los pobladores (mujeres y hombres) en actividades relacionadas con la prevención y mitigación de riesgo. En la zona no hay ningún tipo de servicio informativo ni divulgativo que promueva la gestión del riesgo; el único servicio de información es la radio (la televisión cubre solo el casco urbano). En los talleres participativos, el 80-100% de los pobladores manifestaron su disponibilidad para ejecutar cualquier acción que favorezca la prevención y mitigación del riesgo en la zona.

Si bien la vulnerabilidad física mostró un índice medio, es un factor de cuidado en la microcuenca pues comunidades como Platanares, El Guayabo y Las Juntas presentan vulnerabilidad física muy alta, y alta en Cabañas y Río Negro. En estas comunidades hay casas que por su estructura (material de construcción) y ubicación están en riesgo y requieren de atención especial al momento de presentarse un evento de lluvia extrema que pueda provocar deslizamientos e inundaciones.

## Evaluación de las amenazas

### *Amenaza de inundaciones*

#### **Caudales pico para cada microcuenca**

Para el cálculo de caudales pico de las microcuencas se tomaron en cuenta los ocho principales afluentes del río Gila. El Cuadro 2 presenta los parámetros medidos para el cálculo de los caudales pico (área de cada microcuenca, número de curva (CN), tiempo de concentración (Tc), tiempo de retardo e infiltración potencial máxima). Además, se tomó en consideración la clasificación hidrológica del suelo según cobertura forestal y uso del suelo. La microcuenca del río Gila presenta un área tributaria de 130,51 km<sup>2</sup>, los tipos de suelo predominantes en la zona son: Chandala, Suelos de los Valles y Sulaco. La clasificación hidrológica de los suelos indica que el 85,5% tiene una capacidad hidrológica de tipo C y un 18,5% de tipo A. Los caudales pico para diferentes periodos de retorno, para cada una de las quebradas y para la microcuenca en su conjunto, se presentan en el Cuadro 3. El caudal pico de cada microcuenca es proporcional al área, la condición hidrológica, capacidad hidrológica y la cobertura vegetal.

Para un periodo de retorno de 50 años, por ejemplo, las microcuencas que presentan un mayor caudal son: Río Negro -la de mayor área (13,67 km<sup>2</sup>), con un caudal de

65,93 m<sup>3</sup>/s, Motagua (45,08 m<sup>3</sup>/s) y San Francisco (41,62 m<sup>3</sup>/s). La microcuenca Platanares, a pesar de ser una de las más grandes (10,52 km<sup>2</sup>), presenta un menor caudal pico (12,28 m<sup>3</sup>/s). Esto se debe a que la mayoría de los suelos en esta microcuenca son del tipo Suelos de los Valles (98,3%); estos suelos tienen una capacidad hidrológica tipo “A”, lo que indica que tienen bajo potencial de escorrentía y, en consecuencia, menor caudal.

### Determinación de las planicies de inundación

La modelación hidráulica de las planicies de inundación, realizada con HEC-RAS y Hec-GeoRas, se representa en el mapa de amenaza de inundaciones para los periodos de retorno establecidos en el estudio (Fig. 2). Se puede observar que la zona más vulnerable es la que comprende toda la planicie de inundación, por lo que los elementos localizados en esta área corren el riesgo de ser destruidos o severamente dañados, si se presentara una fuerte avenida. Entre las estructuras en riesgo están las tomas de acueductos, algunas viviendas (especialmente en la comunidad de Cabañas), los puentes y vías de comunicación localizados

en el curso del río. Muchos de estos puentes fueron destruidos con el paso del huracán Mitch. Otro elemento muy importante lo constituye la considerable superficie dedicada al cultivo de tomate en la planicie de inundación más cercana a la comunidad de Cabañas.

De acuerdo con la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 50 años (Cuadro 4), las quebradas Motagua, Los Salitres y Platanares son las que pueden ocasionar más daño, ya que tienen

una mayor velocidad de agua en el cauce, un caudal pico superior y un número de Froude supercrítico (>1). La siguiente quebrada en grado de peligrosidad es Río Negro, que presenta un caudal pico superior a las demás pero la velocidad del agua es menor. San Francisco y Los Ingenios presentan velocidades menores y su número de Froude es subcrítico (<1), pero su aporte en caudal es significativo, por lo que también debe dárseles la importancia debida para fines de planificación.

**Cuadro 2.**

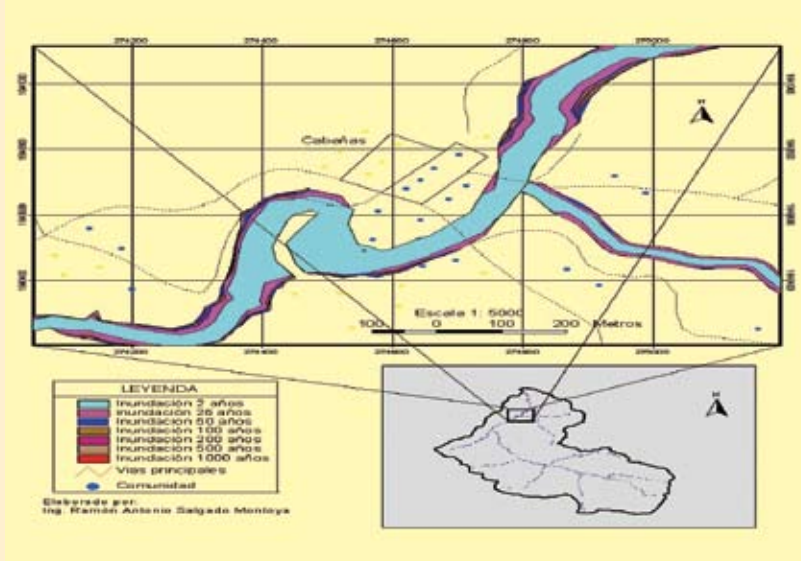
Parámetros medidos en las quebradas que conforman la microcuenca del río Gila para calcular caudales máximos con el modelo HEC-HMS

Microcuencas	Área (km <sup>2</sup> )	CN	Tc (min)	Tiempo retardo (min)	Infiltración potencial máxima (mm)
Platanares	10,52	43,0	42,39	25,44	67,34
El Prado	8,57	76,0	32,31	19,39	16,04
Motagua	9,87	81,3	50,92	30,55	11,68
Río Negro	13,67	81,5	38,26	22,95	11,53
Los Ingenios	6,90	76,0	26,14	15,68	16,04
San Francisco	9,70	76,0	40,21	24,13	16,04
Los Salitres	7,46	76,0	36,39	21,84	16,04
Tierra Fria	7,93	76,0	28,28	16,97	16,04
Río Gila	130,51	70,0	178,92	107,35	21,77

**Cuadro 3.**

Caudales pico de cada quebrada y de la microcuenca del río Gila, para diferentes periodos de retorno

Microcuencas	Caudales pico m <sup>3</sup> /s para diferentes periodos de retorno								
	2	10	20	25	50	100	200	500	1000
Platanares	0,65	5,66	8,33	9,24	12,28	15,60	19,40	26,45	32,31
El Prado	12,75	25,84	31,38	33,19	38,92	44,87	51,03	59,53	66,20
Motagua	16,72	31,13	37,06	38,99	45,08	51,35	57,82	66,71	73,66
Río Negro	24,55	45,59	54,25	57,06	65,93	75,07	84,50	97,47	107,60
Los Ingenios	10,70	21,59	26,19	27,69	32,46	37,39	42,50	49,56	55,09
San Francisco	13,70	27,68	33,58	35,51	41,62	47,96	54,53	63,64	70,79
Los Salitres	10,73	21,81	26,49	28,02	32,88	37,92	43,14	50,35	56,00
Tierra Fria	12,13	24,52	29,75	31,46	36,88	42,50	48,32	56,35	62,64
Río Gila	100,77	207,38	252,93	267,84	323,22	381,57	442,78	528,23	595,80



**Figura 2.** Mapa de amenaza de inundaciones en la microcuenca del río Gila, Honduras para diferentes periodos de retorno

**Cuadro 4.**

Características hidráulicas de las quebradas que conforman la microcuenca del río Gila, Honduras, para un periodo de retorno de 50 años

Microcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad agua canal (m/s)	Longitud (m)	Número de Froude
Platanares	10,52	9,24	6,45	5795,18	1,37
El Prado	8,57	33,19	5,21	5333,12	0,98
Motagua	9,87	38,99	6,71	6693,80	1,33
Río Negro	13,67	57,06	5,10	5553,13	1,04
Los Ingenios	6,90	27,69	4,95	3663,72	1,08
San Francisco	9,70	35,51	4,81	4470,28	0,97
Los Salitres	7,46	28,02	5,89	5324,28	1,32
Tierra Fría	7,93	31,46	5,12	3484,32	1,04

**Amenaza de deslizamientos**

A los cuatro indicadores propuestos se les asignaron pesos relativos según su importancia en los deslizamientos: a la pendiente se le asignó un peso de 30%, a la precipitación 20%, a la intensidad de uso 25% y al uso actual 25%. Al superponerse los cuatro mapas se obtuvo el mapa de áreas críticas a deslizamientos (Fig. 3). El análisis refleja que la comunidad de Cabañas (densidad poblacional de 145,5 hab/ km<sup>2</sup>) es la que presenta mayor peligro a deslizamientos; de

hecho, el 15% del área de esta comunidad se encuentra bajo un riesgo alto y el 57% bajo riesgo medio. En la misma situación se encuentran las comunidades, aldeas y caseríos que se ubican a 100 metros o menos de distancia de las zonas de más alto riesgo a deslizamientos. Los resultados de la superposición indican que la microcuenca en general presenta un 4% del territorio con criticidad muy baja, 51% con criticidad baja, 39% con criticidad media y 6% de criticidad alta (Fig. 4).

**Mapeo comunitario vs. mapeo mediante SIG**

En la Fig. 5 se comparan el mapa elaborado con SIG y el dibujado en un taller de mapeo comunitario por los participantes de la comunidad de Las Juntas. Es evidente que ambos mapas muestran fuertes coincidencias, tanto en cuanto a los usos del suelo como en cuanto a la identificación de las zonas de riesgo.

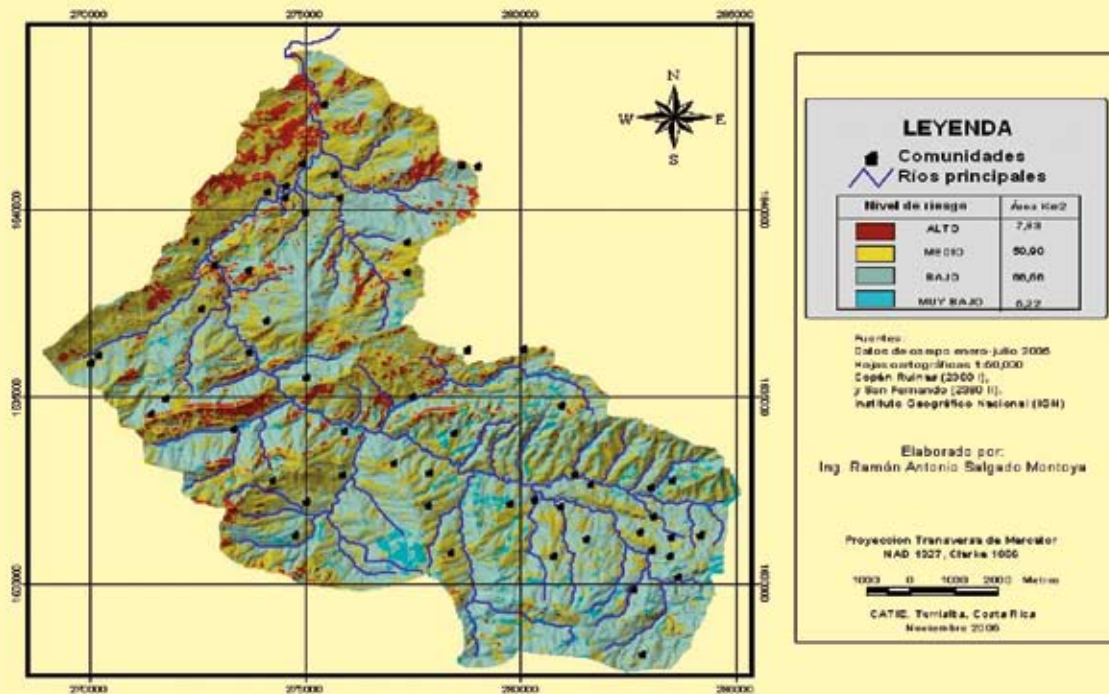
El mapa SIG de riesgo a deslizamientos identifica un riesgo medio en la zona, tomando en cuenta las condiciones de pendiente, cobertura, precipitación e intensidad de uso. El modelo no identifica zonas de riesgo alto; sin embargo, la comunidad percibe estas zonas de riesgo medio como zonas de alto peligro. El buen nivel de conocimiento que los pobladores tienen de su entorno debiera aprovecharse para la prevención y mitigación de riesgo; con su ayuda, se pueden hacer diagnósticos rápidos acerca de los problemas en la comunidad y elaborar mapas de riesgo o de otra clase según el análisis requerido.

La diferencia entre lo reportado por los informantes claves y lo realizado con SIG estriba en que los habitantes señalan lugares muy puntuales donde el efecto de deslizamientos es muy visible o actual; el SIG, en cambio, permite definir las zonas de acuerdo con parámetros o indicadores y sus pesos no se pueden determinar a simple vista.

**Estrategias para la gestión del riesgo**

Para que el manejo de la microcuenca del río Gila tenga éxito y contribuya a la reducción de la vulnerabilidad y, en consecuencia, a la reducción del riesgo en la zona, al menos se deberían considerar las siguientes acciones:

- Crear conciencia entre los actores de que la microcuenca es un sistema integral, en el cual los flujos de agua actúan como ejes naturales para la interrelación entre los múltiples componentes de la misma.



**Figura 3.** Áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Gila, Honduras

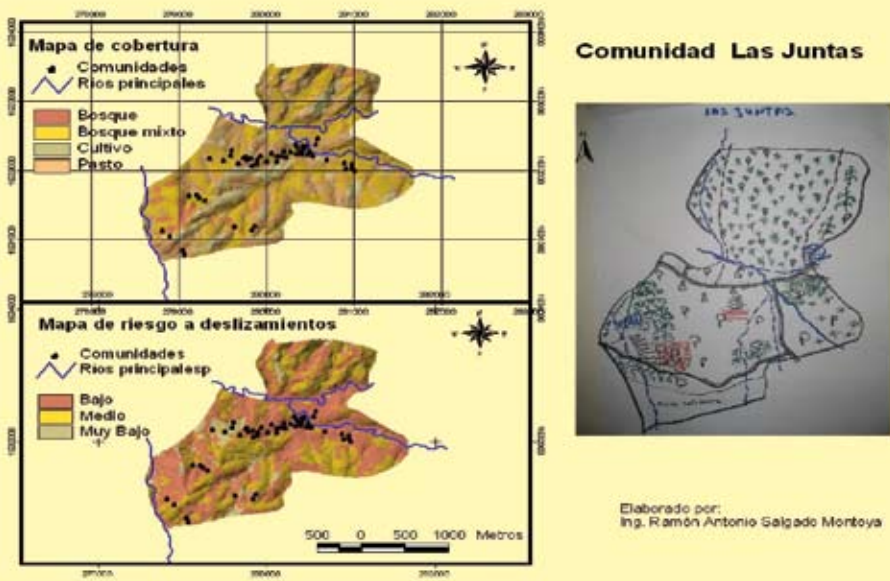
- Limitar al máximo la construcción de estructuras permanentes en las llanuras aluviales, por medio de una adecuada gestión del territorio (ordenamiento territorial). En todas partes, los pobladores prefieren las llanuras aluviales por la fertilidad de sus suelos o la disponibilidad de una tierra plana. A medida que las poblaciones aumentan y que hay más competencia por la tierra y sus recursos, se van ocupando zonas con mayores riesgos potenciales a deslaves e inundaciones, como montañas y laderas escarpadas.
- Asegurar que los pocos bosques ribereños existentes sean protegidos; con esto se asegura la existencia de zonas de amortiguamiento en los cursos de agua, que contribuyan al control de la sedimentación y la contaminación. Es de tomar cuenta que el 51% de la microcuenca del río Gila se encuentra deforestada.



**Figura 4.** Nivel de criticidad de riesgo a deslizamientos en la microcuenca del río Gila, Honduras

- No permitir, o limitar al máximo posible, las actividades agrícolas intensivas en zonas con pendientes superiores a un porcentaje dado que refleje la capacidad de uso de la tierra. De acuerdo con el mapa de capacidad de uso de los suelos de la microcuenca, un 35% de la misma está siendo sobre utilizada.
- Limitar, o prohibir por completo, la tala en la zona protegida de La Fortuna ubicada en la parte alta





**Figura 5.** Comparación del mapa comunitario de Las Juntas y los elaborados mediante el sistema de información geográfica ArcView, microcuenca del río Gila, Honduras

de la microcuenca. Esta protección debe hacer énfasis en la conservación, producción y manejo sostenible de este bosque.

- Promover el establecimiento de mecanismos de pago por servicios ambientales que provean fondos para el manejo de la microcuenca y, con ello, reducir la vulnerabilidad y riesgo a desastres.
- Promover mecanismos de cooperación y coordinación interinstitucional entre la municipalidad de Cabañas, programas, proyectos y ONG que trabajan en la zona; optimizar el uso de los recursos financieros y técnicos para contribuir al manejo sostenible de la microcuenca.

**Conclusiones**

La microcuenca del río Gila presenta niveles altos de vulnerabilidad global ante las amenazas de deslizamientos e inundaciones. La mayor vulnerabilidad se da en la parte técnica, institucional, educativa, económica y física.

Los ejercicios de mapeo comunitario son una buena herramienta para discutir y reflexionar acerca de los beneficios, usos, manejos y limitaciones de los recursos naturales de

una comunidad o zona determinada. Esta herramienta debiera utilizarse para fomentar la participación de los pobladores y lograr su colaboración y apoyo para las medidas que se deban implementar en la microcuenca.

La información cartográfica existente de la zona es limitada, por lo que el mapa de áreas susceptibles

a inundaciones elaborado para este estudio se basó en hojas cartográficas a escala 1:50.000. Este mapa constituye una herramienta de planificación, pero no puede ser utilizado para el diseño de obras; para ello se requieren mapas en escalas que ofrezcan mayor detalle, como 1:5.000 o 1:10.000.

**Literatura citada**

Buch Texaj, MS. 2001. Evaluación del riesgo a deslizamientos en la subcuenca Matanzas, Río Polochic, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 152 p.

Cáceres Johnson, K. 2001. Metodologías para estimar degradación y vulnerabilidad a desastres naturales: aplicación a la microcuenca Los Naranjos, Lago de Yojoa, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 124 p.

CEPAL (Comisión Económica de América Latina y el Caribe). 2000. La reducción de la vulnerabilidad: un tema de desarrollo. Santiago, CH, CEPAL. 45 p.

Gómez Rivera, SN. 2003. Análisis de la vulnerabilidad con énfasis en sequía en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 78 p.

Jiménez, F; Velásquez, S; Faustino, J. 2004. Análisis integral de la vulnerabilidad a amenazas naturales en cuencas hidrográficas de América Central. In VI Semana Científica (Resúmenes). Turrialba, CR, CATIE. p. 50-53.

Meléndez Valle, BA. 2001. Uso de los recursos naturales y su relación con la vulnerabilidad a inundaciones y deslizamientos en la cuenca del río Tuis, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 93 p.

Parra Pichardo, YK. 2003. Análisis de vulnerabilidad a deslizamientos y avalanchas en la zona de Orosi, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 155 p.

Reyes Sandoval, WM. 2003. Vulnerabilidad a desastres naturales, determinación de áreas críticas y propuesta de mitigación en la microcuenca del río Talgua, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 118 p.

Rivera Torres, LH. 2002. Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 158 p.

Salgado, RA. 2005. Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 172 p.

Wilches-Chaux, G. 1993. La vulnerabilidad global. In Maskrey, A. (Comp.). Los desastres no son naturales. Colombia, La Red. p. 9-50.

# Vulnerabilidad y áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras<sup>1</sup>

**Wilmer Reyes**

*wreyes@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez O.**

*fjimenez@catie.ac.cr*

**Jorge Faustino M.**

*faustino@catie.ac.cr*

**Sergio Velásquez**

*svelasqu@catie.ac.cr*

Como elementos claves para reducir la vulnerabilidad a deslizamientos y otras amenazas naturales en la microcuenca del río Talgua se identificaron los siguientes: mejorar la educación de la población, manejar adecuadamente los recursos naturales, fortalecer las instituciones locales y la participación comunitaria y mejorar las condiciones socioeconómicas de la población.



Foto: Wilmer Reyes.

<sup>1</sup> Basado en Reyes Sandoval, WM. 2003. Vulnerabilidad a desastres naturales, determinación de áreas críticas y propuesta de mitigación en la microcuenca del río Talgua, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 118 p.

## Resumen

Se evaluó la vulnerabilidad y se determinaron áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras. La metodología incluyó el uso de sistemas de información geográfica y variables biofísicas, socioeconómicas y ambientales divididas en dos grandes grupos: vulnerabilidad global y factores críticos que aumentan la vulnerabilidad y el riesgo a deslizamientos. El 66% del área de la microcuenca presentó un nivel de vulnerabilidad alto, el 8% vulnerabilidad media y el 26% vulnerabilidad baja. Los componentes físicos, técnicos e institucionales de la vulnerabilidad global presentaron los valores más altos. Según los factores críticos propuestos, el 50% del área de la microcuenca presenta criticidad media, el 23% criticidad alta y el 16% criticidad baja. Al integrar espacialmente la vulnerabilidad y la criticidad en una relación ponderada (60:40), el 20% del área de la microcuenca presenta un nivel de riesgo bajo, el 27% nivel de riesgo medio y el 53% un nivel de riesgo alto. Como elementos claves para reducir la vulnerabilidad a deslizamientos y otras amenazas naturales se identificaron los siguientes: mejorar los niveles de educación, manejar adecuadamente los recursos naturales, fortalecer las instituciones locales y la participación comunitaria y mejorar las condiciones socioeconómicas.

**Palabras claves:** Microcuencas; deslizamiento de tierras; desastres naturales; vulnerabilidad; riesgo; Honduras.

## Summary

### **Landslide vulnerability and critical areas in Talgua River micro-watershed, Honduras.**

Landslide vulnerability and critical areas were determined in Talgua River micro-watershed, Honduras. The methodology included the use of both GIS and variables related to global vulnerability and landslide risk critical factors. Variables evaluated involved three types: biophysical, socioeconomic and environmental. Results showed that 66% of the micro-watershed had a high vulnerability level, 8% mid vulnerability, and 26% low vulnerability. The physical, technical, and institutional components of global vulnerability showed the highest values. As for critical factors, 50% of the micro-watershed had a mid level of criticalness, 23% a high level and 16% a low level. Spatial combination of vulnerability and criticalness by a weighted relation (60:40) determined that 20% of the micro-watershed had a low risk level, 27% had a mid level, and 53% had a high risk level. Key factors for reducing vulnerability to landslide and other natural threats were identified; among them: improved education, improved natural resources management, strengthened local organizations and participation, and ameliorated socioeconomic conditions.

**Keywords:** Microwatersheds; landslides; natural disasters, vulnerability; risk; Honduras.

## Introducción

**A**mérica Central es una de las regiones más propensas a desastres en el mundo. Las características climáticas, geomorfológicas, geográficas y socioeconómicas, así como la degradación de los recursos naturales y la mala gestión ambiental potencian la capacidad de afectación de las amenazas naturales, principalmente de ciclones tropicales, inundaciones, sequías, deslizamientos,

sismos y erupciones volcánicas. La vulnerabilidad, entendida como el nivel de daño o pérdida que puede sufrir un elemento o grupo de elementos bajo riesgo (personas, estructuras físicas, actividades económicas, bienes, servicios, ambiente) es el resultado de la ocurrencia de un evento de una magnitud e intensidad dada, y se expresa en una escala de 0 a 100: sin daño a pérdida total (Jiménez 2006).

En cuencas de montaña, la gestión integral de cuencas hidrográficas está estrechamente relacionada con la reducción de la vulnerabilidad y el riesgo a desastres causados por fenómenos naturales como huracanes, inundaciones, deslizamientos, avalanchas y sequías. La comprensión y entendimiento del entorno en el cual se desarrollan estos fenómenos resulta determinante para emprender cual-



quier acción que tenga como objetivo mitigar o reducir los impactos que pudieran generar eventos futuros. El análisis de la vulnerabilidad ante la ocurrencia de posibles desastres naturales en una microcuenca es relevante por las siguientes razones: la vulnerabilidad es el único componente del riesgo que el hombre puede modificar para conocer quiénes son vulnerables, a qué son vulnerables y por qué son vulnerables; además, permite seleccionar áreas críticas de intervención prioritaria para planificar y ejecutar acciones de manera oportuna. El CATIE ha venido realizando en la región centroamericana una serie de estudios sobre la determinación de la vulnerabilidad ante amenazas naturales en microcuencas hidrográficas (Cáceres 2001, Buch 2001, Meléndez 2001, Rivera 2002, Gómez 2003, Parra 2003, Reyes 2003, Salgado 2005).

La microcuenca del río Talgua, ubicada en el departamento de Olancho, Honduras, es un caso representativo de condiciones de alta vulnerabilidad. La presencia de asentamientos humanos precaristas en zonas de alto riesgo, el uso excesivo de los recursos naturales, los altos niveles de pobreza, la construcción de viviendas con materiales muy frágiles y la falta de conocimiento y entendimiento del riesgo aumentan la vulnerabilidad y limitan significativamente la capacidad de gestión y acción necesaria para la prevención de desastres naturales. El objetivo del estudio fue, entonces, determinar el grado de vulnerabilidad y las áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua.

### Metodología

**Evaluación de la vulnerabilidad: parámetros críticos que pueden aumentar la vulnerabilidad a deslizamientos**

La vulnerabilidad en sí misma constituye un sistema dinámico; es decir, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores

y características (internas y externas) que convergen en una comunidad particular. A esa interacción de factores y características se le denomina vulnerabilidad global; para efectos de análisis se consideran diferentes tipos de vulnerabilidad: física, social, ecológica, económica, política, técnica, ideológica, cultural, educativa, institucional (Wilches-Chaux 1993). Para cada tipo de vulnerabilidad se identifican variables e indicadores representativos de la microcuenca,

= baja, 2 = media, 3 = alta, 4 = muy alta. La asignación de límites cuantitativos a los indicadores y parámetros críticos se establece con base en la situación propia y específica de la microcuenca, subcuenca o cuenca en estudio, o grupo de ellas. El Cuadro 2 muestra un ejemplo para el indicador de vulnerabilidad física “número de viviendas en laderas peligrosas en la microcuenca del río Talgua”, el cual incluye la valoración del parámetro “grado de pendiente”.



Foto: Wilmer Reyes.

La microcuenca del río Talgua es un caso representativo de condiciones de alta vulnerabilidad

según la metodología descrita por (Jiménez et ál. 2004), los cuales se evaluaron en cada una de las comunidades asentadas en la microcuenca del río Talgua (Cuadro 1).

A nivel de la microcuenca se midieron cuatro parámetros críticos que pueden aumentar la vulnerabilidad a deslizamientos: el tipo de cobertura vegetal, la pendiente del terreno, la intensidad de uso del suelo y la cantidad de lluvia. Cada indicador de vulnerabilidad y cada parámetro crítico se caracterizaron cualitativamente y se les asignó una valoración: 0 = muy baja o nula, 1

El valor de cada tipo de vulnerabilidad se obtiene al promediar el resultado de dividir el valor obtenido para cada uno de los indicadores evaluados en ese tipo de vulnerabilidad entre el valor máximo posible de cada indicador (o sea, 4) y multiplicando ese resultado por 100. La vulnerabilidad global se obtiene de promediar los diferentes tipos de vulnerabilidad. La caracterización de cada tipo de vulnerabilidad y de la vulnerabilidad global se realizó ubicando los valores obtenidos dentro de la escala propuesta en el Cuadro 3. La valoración porcentual



**Cuadro 1. Variables e indicadores utilizados para la estimación de la vulnerabilidad en la microcuenca del río Talgua, Honduras**

Tipo de vulnerabilidad	Variables repuesta	Indicador
Física	Asentamientos humanos en laderas	Número de viviendas en laderas peligrosas
	Asentamientos humanos en las riberas de ríos y quebradas	Número de viviendas en riberas de ríos o quebradas
	Resistencia física de las viviendas	Tipo de materiales de construcción
	Infraestructura comunal	Porcentaje de la población con acceso a albergues en caso de emergencias
	Accesibilidad	Condiciones de acceso durante el año
Social	Organización comunal	No. de organizaciones activas existentes
	Instituciones presentes en la zona	No. de instituciones presentes en la zona
	Salud	Ubicación geográfica de los centros de atención y tipo de servicio de salud brindado
	Acceso a medios de comunicación	Porcentaje de la población con acceso a radio y televisión
	Población	Índice de crecimiento poblacional
Ecológica	Erosión de suelos	Tipo de erosión predominante
	Deforestación	Porcentaje del área deforestada
	Agricultura migratoria	Porcentaje del área con agricultura migratoria y sin prácticas de conservación de suelos y aguas
Económica	Capacidad económica	Ingreso promedio anual <i>per cápita</i>
	Desempleo	Porcentaje de la población desempleada
	Dependencia económica	Número de actividades productivas
	Acceso a servicios públicos	Porcentaje de la población con acceso a servicios públicos
Política	Apoyo municipal y estatal a proyectos comunales	Número de proyectos ejecutados por año
	Participación comunitaria en las decisiones locales	Número de representantes de la comunidad que participan en las decisiones municipales
	Liderazgo en la comunidad	Porcentaje de la población que reconoce a sus líderes
Técnica	Equipo y maquinaria para prevención y atención de emergencias	Disponibilidad y ubicación del equipo y maquinaria
	Tecnología de construcción de obras e infraestructura en zonas de riesgo	Porcentaje de estructuras y obras físicas construidas con técnicas adecuadas.
Ideológica	Participación comunal en la fase pre-desastre: preparación y prevención	Porcentaje de la población que participa en acciones de preparación y prevención
	Reacción comunal en la fase de impacto y rehabilitación de los desastres	Porcentaje de la población que participa en la emergencia y la rehabilitación
	Percepción fatalista	Porcentaje de la población que tiene percepción fatalista de los desastres
Cultural	Participación de la mujer en actividades de prevención y mitigación de riesgos	Porcentaje de mujeres que participan en estas actividades
	Programas radiales o televisivos locales sobre prevención de desastres	Número de programas mensuales sobre estos temas
	Integración intercomunal para prevenir o mitigar riesgos	Porcentaje de la población dispuesta a trabajar en equipo con otras comunidades
Educativa	Acceso a la educación	Porcentaje de analfabetismo en la población
	Educación orientada a la prevención y mitigación de desastres naturales	Porcentaje de la población que ha sido capacitada en estos temas
Institucional	Instituciones relacionadas con prevención y mitigación de desastres naturales	Número de instituciones vinculadas con este tema con presencia activa en la comunidad
	Capacitación de personal técnico	Porcentaje de técnicos capacitados en el año

de cada uno de los parámetros críticos que pueden aumentar la vulnerabilidad a deslizamientos (el tipo de cobertura vegetal, la pendiente del terreno, la intensidad de uso del suelo y la cantidad de lluvia), así como la caracterización de la criticidad se realizó de manera similar a la descrita para la vulnerabilidad.

#### Ponderación de los indicadores de vulnerabilidad y de los parámetros críticos

Con el fin de determinar la importancia relativa de cada uno de los indicadores y parámetros en la vulnerabilidad a deslizamientos, se realizó una ponderación para asignar un mayor peso al valor que represente la situación más crítica y el menor peso al estado que indique la situación menos crítica. Para ello se usó el modelo siguiente:

Vulnerabilidad global =  $\Sigma$  Índices de vulnerabilidad \* F = (a \* F) + (b \* F) + (c \* F) + (d \* F) + (e \* F) + (f \* F) + (g \* F) + (h \* F) + (i \* F) + (j \* F) donde, a = física, b = social, c = ecológica, d = económica, e = política, f = técnica, g = ideológica, h = cultural, i = educativa, j = institucional, F = contribución relativa (%) de cada tipo de vulnerabilidad a la vulnerabilidad global (0,15; 0,15; 0,10; 0,15; 0,05; 0,05; 0,05; 0,05; 0,15 y 0,10).

Integración de factores críticos =  $\Sigma$  Índices de factores críticos \* F = (a \* F) + (b \* F) + (c \* F) + (d \* F) donde, a = tipo de cobertura vegetal, b = pendiente del terreno, c = intensidad de uso del suelo, d = cantidad de precipitación, F= contribución relativa (%) de cada parámetro a la criticidad (0,25; 0,30; 0,25; 0,20).

#### Distribución espacial e integración de la vulnerabilidad y los parámetros críticos

La distribución espacial de la vulnerabilidad y del grupo de parámetros críticos se realizó con la ayuda de ArcView 3.3 (extensiones *Spatial*

*Analyst y Model Builder*). Se generó un mapa de vulnerabilidad y otro de factores críticos, a partir de los valores promedios ponderados obtenidos para cada tipo de vulnerabilidad y para cada parámetro o factor crítico. La distribución espacial ponderada se realizó con el modelo ya presentado.

La integración de la vulnerabilidad global con los factores críticos se realizó mediante la superposición de

ambos mapas, dando como resultado el mapa de áreas críticas. Los niveles de vulnerabilidad resultaron de la integración (superposición ponderada) de la vulnerabilidad y la criticidad, según la correspondencia que se presenta en el Cuadro 4. Las áreas de intervención prioritarias son aquellas en que la vulnerabilidad alta o muy alta coincide con los parámetros de criticidad alta o muy alta (Cuadro 4).

#### Cuadro 2.

Ejemplo de valoración del indicador “número de viviendas ubicadas en laderas peligrosas en la microcuenca del río Talgua, Honduras”

No. de viviendas en laderas	Pendiente (%)	Vulnerabilidad
>8	> 40	Muy alta
7-8	31-40	Alta
5-6	21-30	Media
3-4	11-20	Baja
0-2	0-10	Muy baja

#### Cuadro 3.

Caracterización de la vulnerabilidad según su valoración porcentual

Vulnerabilidad (%)	Caracterización
0-19,9	Muy baja
20-39,9	Baja
40-59,9	Media
60-79,9	Alta
80-100	Muy alta

#### Cuadro 4.

Matriz para la determinación de áreas críticas con mayor vulnerabilidad y riesgo a deslizamientos

		Factores críticos que favorecen la vulnerabilidad y riesgo a deslizamientos				
		0	1	2	3	4
Nivel de vulnerabilidad según indicadores	0	00	01	02	03	04
	1	10	11	12	13	14
	2	20	21	22	23	24
	3	30	31	32	33	34
	4	40	41	42	43	44

■ Área crítica ■ Área medianamente crítica ■ Área menos crítica

## Resultados y discusión

El Cuadro 5 muestra los niveles de vulnerabilidad en la microcuenca del río Talgua. La vulnerabilidad física, técnica e institucional presentaron los valores más altos, de acuerdo con los indicadores utilizados en el estudio. En términos de área, el 26% de la microcuenca presenta vulnerabilidad baja, el 8% vulnerabilidad media y 66% vulnerabilidad alta (Fig. 1). El mapa resultante de la superposición

ponderada de los factores críticos (Fig. 2) indica que la microcuenca presenta un 0,38% del área con criticidad muy baja, 16% con criticidad baja, 50% con criticidad media, 23% con criticidad alta y 9% con criticidad muy alta. La variable más influyente fue la pendiente, ya que, por un lado, predominan las áreas con pendientes mayores a 40% y, por otro lado, fue la variable con el mayor peso relativo (30%).

### Determinación de áreas críticas a deslizamientos en función de la vulnerabilidad e integración de factores críticos

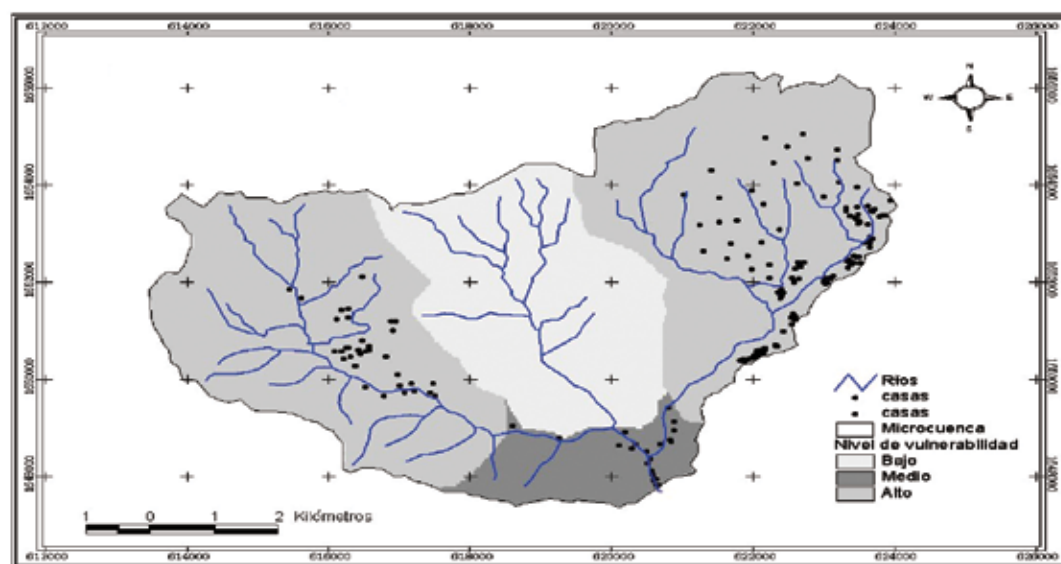
El riesgo a deslizamientos se determinó mediante la superposición ponderada de la vulnerabilidad y la integración de factores críticos; se asignaron pesos relativos de 60 y 40% a la vulnerabilidad y factores críticos, respectivamente (Modelo 1). Los resultados muestran que la micro-

### Cuadro 5.

Resumen de promedios por cada tipo de vulnerabilidad en las diferentes comunidades que conforman la microcuenca del río Talgua

Comunidad	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	Media	V. Global (%)	Tipo de vulnerab.
Buena Vista	3,20	1,67	2,33	3,00	1,33	4	2,7	2,7	3,5	4	2,84	71,08	Alta
Flor del Café	3,60	1,33	1,67	3,25	1,33	4	2,7	2,7	2,5	4	2,71	67,70	Alta
Pinabetal	3,20	1,00	2,00	3,00	1,33	4	2,7	2,7	2,5	4	2,64	66,08	Alta
La Florida	3,60	1,67	3,00	3,00	1,33	4	2,7	2,7	4,0	4	3,00	75,00	Alta
La Unión	3,20	0,67	1,33	2,50	1,00	4	2,7	2,7	1,5	4	2,36	59,00	Media
Santa Fe	3,40	1,50	3,00	2,50	1,33	4	2,7	2,7	3,5	4	2,86	71,58	Alta
<b>Media</b>	<b>3,37</b>	<b>1,31</b>	<b>2,22</b>	<b>2,88</b>	<b>1,28</b>	<b>4,00</b>	<b>2,70</b>	<b>2,70</b>	<b>2,92</b>	<b>4,00</b>	<b>2,74</b>	<b>68,4</b>	<b>Alta</b>
% / tipo	<b>84,2</b>	<b>32,7</b>	<b>55,5</b>	<b>71,9</b>	<b>32,0</b>	<b>100</b>	<b>67,5</b>	<b>67,5</b>	<b>73,0</b>	<b>95,8</b>	<b>67,4</b>	---	---
<b>Caracterización</b>	<b>Muy Alta</b>	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>	<b>Baja</b>	<b>Muy alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Muy alta</b>	<b>Alta</b>	----	---

V1 = Vulnerabilidad física, V2 = Vulnerabilidad social, V3 = Vulnerabilidad ecológica, V4 = Vulnerabilidad económica, V5 = Vulnerabilidad política, V6 = Vulnerabilidad técnica, V7 = Vulnerabilidad ideológica, V8 = Vulnerabilidad cultural, V9 = Vulnerabilidad educativa, V10 = Vulnerabilidad institucional

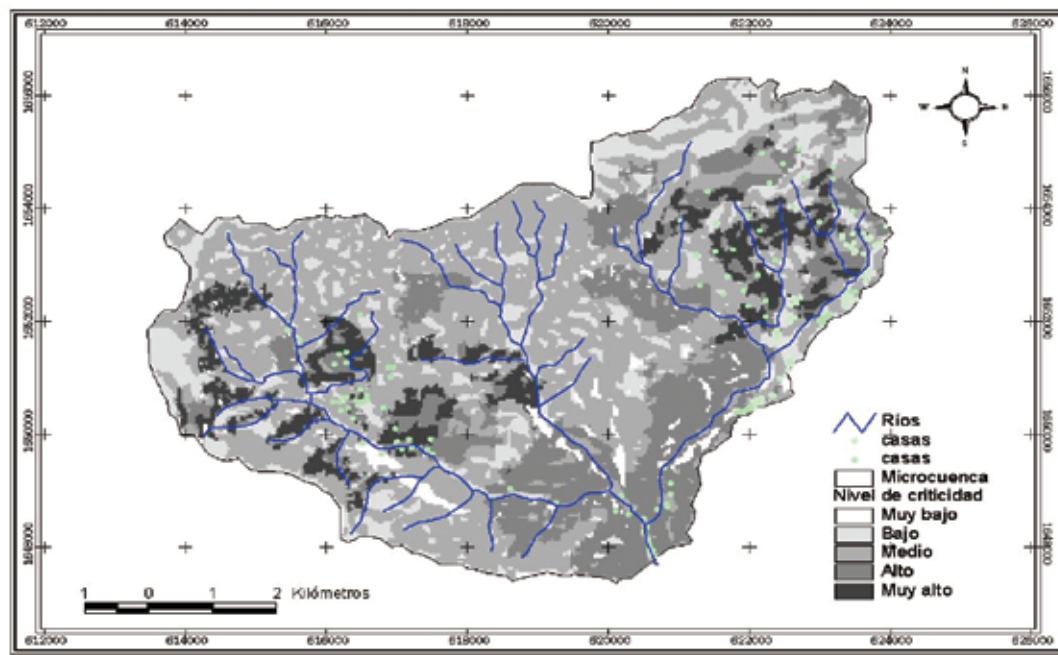


**Figura 1.** Niveles de vulnerabilidad en la microcuenca del río Talgua, Honduras

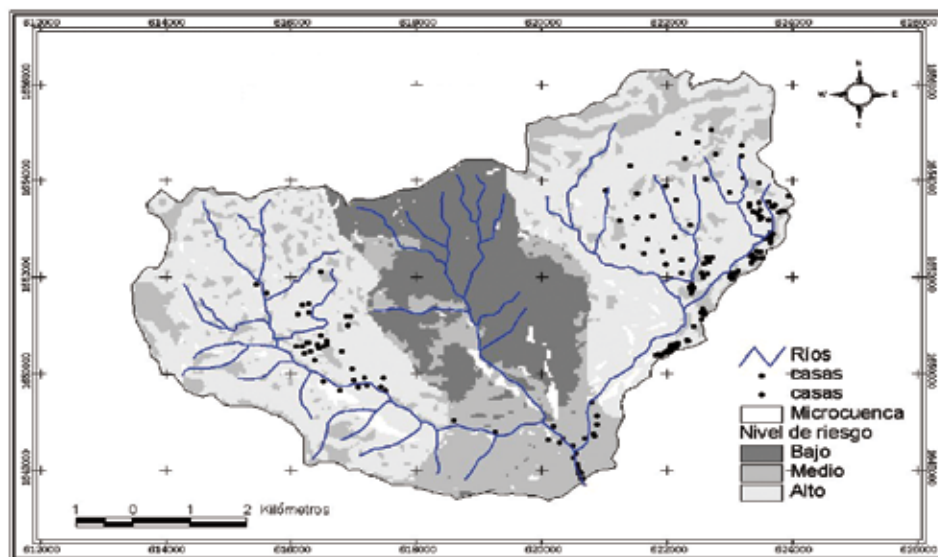
cuenca presenta un 20% de área con nivel de riesgo bajo, 27% con riesgo medio y 53% con riesgo alto (Fig. 3). Las zonas de riesgo bajo son aquellas donde la vulnerabilidad es baja porque no hay poblaciones establecidas. Por el contrario, los valores muy altos se presentan en aquellas áreas donde hay asentamientos humanos.

Con el fin de modelar la variación de los diferentes niveles de riesgo, en función de los pesos relativos asignados a la vulnerabilidad y a los factores críticos, se corrieron tres modelos más. Modelo 2: pesos de 70-30 para la vulnerabilidad y factores críticos, respectivamente; Modelo 3: pesos de 50-50 y Modelo 4: a todos los tipos de

vulnerabilidad y a los factores críticos se les asignó un igual peso relativo (Cuadro 6). No hubo variación en los niveles de riesgo entre los modelos 1 y 2 ni entre los modelos 3 y 4; sin embargo, estos últimos sí presentaron diferencias con respecto a los modelos 1 y 2, principalmente porque se reflejan niveles de riesgo muy bajos.



**Figura 2.** Niveles de criticidad en la microcuenca del río Talgua, Honduras, según la integración de los factores críticos



**Figura 3.** Riesgo a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras (Modelo 1)



## Cuadro 6.

Área de la microcuenca Talgua bajo diferentes niveles de riesgo a deslizamientos, según la relación de pesos relativos de vulnerabilidad global y factores críticos

Nivel de riesgo	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Muy bajo	0	0	0	0	292	3,5	234	2,8
Bajo	1660	19,8	1660	19,8	3106	37,1	2979	35,7
Medio	2233	26,7	2233	26,7	4313	51,6	4516	53,9
Alto	4474	53,5	4474	53,5	655	7,8	645	7,7

Junto con el estudio de vulnerabilidad, se hizo un análisis de zonificación de las amenazas a deslizamientos según el conocimiento local. Los resultados de ambos coinciden en gran medida. Partiendo de los resultados de este estudio, más lo expresado por las comunidades, se sugieren los siguientes elementos claves para definir acciones de mitigación: educación, manejo adecuado de los recursos naturales, fortalecimiento institucional local, participación comunitaria y mejoramiento de las condiciones socioeconómicas de la población

### Conclusiones

#### Sobre aspectos metodológicos

La metodología aplicada ha demostrado su efectividad, y pudiera extrapolarse a otras cuencas de la región o áreas de mayor o menor criticidad

de gestión del riesgo para establecer prioridades de acción y asignación de recursos económicos y humanos. Sin embargo, es importante mencionar que a medida que se incrementa el número de variables, el análisis espacial se vuelve más complejo.


La metodología se fundamenta en indicadores que consideran una visión sistémica e integral de la microcuenca, pero con aplicación directa a las comunidades que integran la misma. Sin embargo, la valoración de cada indicador y factor crítico, así como su ponderación, exige un manejo cuidadoso para reducir al mínimo la subjetividad implícita en este tipo de evaluaciones.

#### Sobre los resultados

Los niveles de vulnerabilidad no presentaron variación espacial al modificar los porcentajes de influen-

cia de cada tipo de vulnerabilidad. Por lo tanto, la asignación de pesos se puede manejar a partir de criterios locales.

Los niveles de criticidad, según los factores propuestos, coinciden en gran medida con las altas pendientes (60% del área de la microcuenca presenta pendientes superiores a 40%), las áreas dedicadas a la agricultura, la poca cobertura boscosa y la fuerte precipitación.

Como elementos claves para reducir la vulnerabilidad a deslizamientos y otras amenazas naturales en la microcuenca del río Talgua se identificaron los siguientes: mejorar la educación de la población, manejar adecuadamente los recursos naturales, fortalecer las instituciones locales y la participación comunitaria y mejorar las condiciones socioeconómicas de la población. 

### Literatura citada

- Buch Texaj, MS. 2001. Evaluación del riesgo a deslizamientos en la subcuenca Matanzas, Río Polochic, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 152 p.
- Cáceres Johnson, K. 2001. Metodologías para estimar degradación y vulnerabilidad a desastres naturales: aplicación a la microcuenca Los Naranjos, Lago de Yojoa, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 124 p.
- Gómez Rivera, SN. 2003. Análisis de la vulnerabilidad con énfasis en sequía en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 78 p.
- Jiménez, F. 2006. Manejo de Desastres Naturales (Apuntes de clase). Turrialba, CR, CATIE. 235 p.
- Jiménez, F; Velásquez, S; Faustino, J. 2004. Análisis integral de la vulnerabilidad a amenazas naturales en cuencas hidrográficas de América Central. *In VI Semana Científica (Resúmenes)*. Turrialba, CR, CATIE. p. 50-53.
- Meléndez Valle, BA. 2001. Uso de los recursos naturales y su relación con la vulnerabilidad a inundaciones y deslizamientos en la cuenca del río Tuis, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 93 p.
- Parra Pichardo, YK. 2003. Análisis de vulnerabilidad a deslizamientos y avalanchas en la zona de Orosí, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 155 p.
- Reyes Sandoval, WM. 2003. Vulnerabilidad a desastres naturales, determinación de áreas críticas y propuesta de mitigación en la microcuenca del río Talgua, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 118 p.
- Rivera Torres, LH. 2002. Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 158 p.
- Salgado, RA. 2005. Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 172 p.
- Wilches-Chaux, G. 1993. La vulnerabilidad global. *In* Maskrey, A. (Comp.). Los desastres no son naturales. Colombia, La Red. p. 9-50.

# Parámetros hidrológicos y de cobertura vegetal en sistemas de producción ganadera en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica<sup>1</sup>

**Ney Ríos**

*jrios@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez**

*CATIE. fjimenez@catie.ac.cr*

**Muhammad Ibrahim**

*CATIE. mibrahim@catie.ac.cr*

**Hernán Andrade**

*CATIE. handrade@catie.ac.cr*

**Freddy Sancho**

*Universidad de Costa Rica.*

*fsancho@cia.ucr.ac.cr*

Los sistemas silvopastoriles presentaron características hidrológicas de escorrentía e infiltración intermedias entre las pasturas sobrepastoreadas y los bosques secundarios. Esto demuestra sus beneficios potenciales para recuperar y mejorar el manejo de pasturas en la cuenca del río Barranca, Costa Rica.

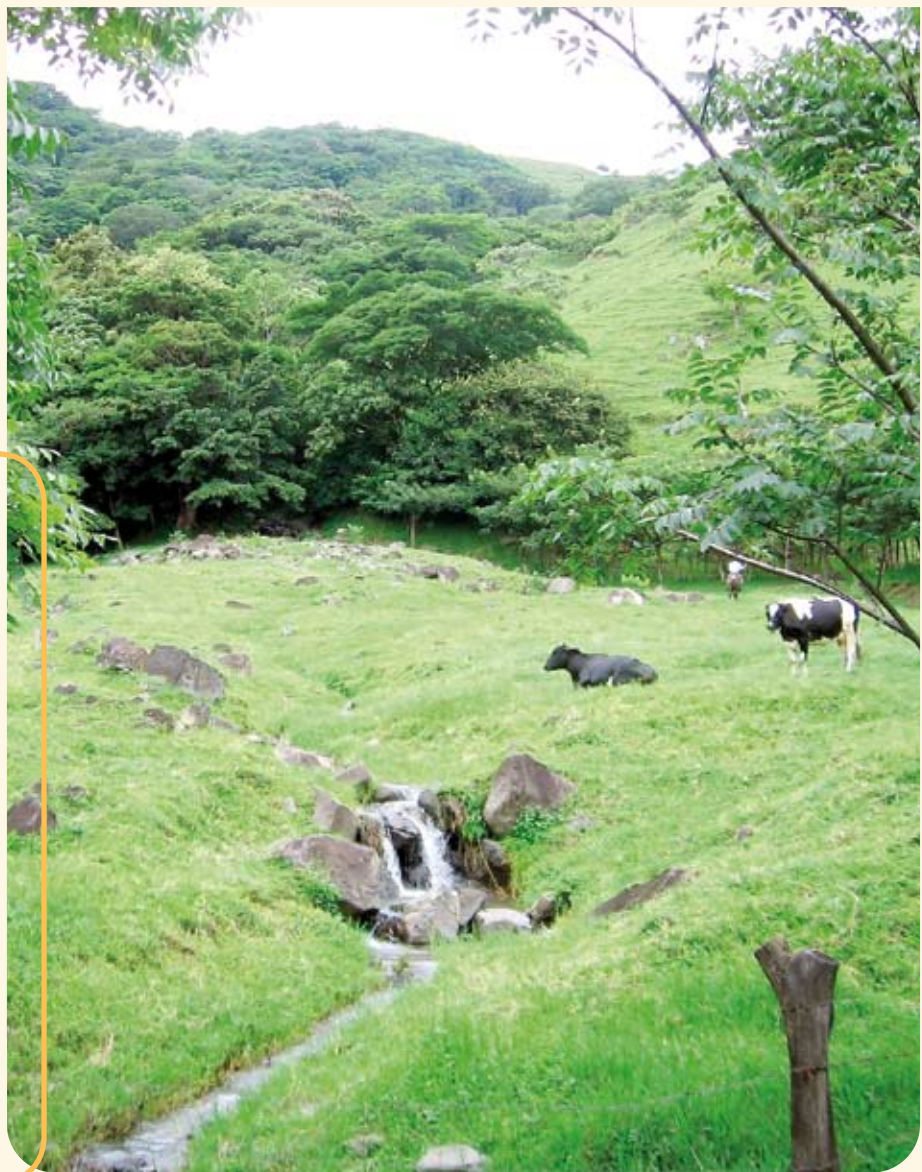


Foto: Ruth Cecilia Aquilla.

<sup>1</sup> Basado en Ríos, N. 2006. Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del río Jabonal, cuenca del río Barranca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.

## Resumen

Se evaluó la escorrentía superficial, la capacidad de infiltración, la conductividad hidráulica del suelo y la cobertura vegetal en cuatro sistemas de uso de la tierra en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. Los sistemas evaluados fueron: pasturas nativas sobrepastoreadas sin árboles, pasturas nativas con árboles, pasturas mejoradas con árboles y un bosque secundario intervenido. La escorrentía superficial mostró un comportamiento inverso a la cobertura arbórea en las fincas ganaderas; se determinó una correlación negativa de la cobertura arbórea y del área basal con respecto a la escorrentía superficial. La capacidad de infiltración presentó una correlación positiva con la cobertura de árboles y el área basal, lo que implica que la infiltración mejoró donde hay una mayor cobertura arbórea. Los sistemas silvopastoriles presentaron características hidrológicas de escorrentía e infiltración intermedias entre las pasturas sobrepastoreadas y los bosques secundarios. Esto demuestra sus beneficios potenciales para recuperar y mejorar el manejo de pasturas en la subcuenca del río Jabonal.

**Palabras claves:** Sistemas silvopastoriles; utilización de la tierra; escorrentía; infiltración; permeabilidad; propiedades hidráulicas del suelo; cubierta vegetal; pastizales; Costa Rica.

## Summary

**Hydrologic and vegetal cover parameters in cattle production systems located in the recharge area of Jabonal River sub-watershed, Costa Rica.** Superficial runoff, infiltration capacity, hydraulic conductivity, and vegetal cover were evaluated in four land use systems in the recharge area of Jabonal River sub-watershed, Costa Rica. The systems evaluated were: overgrazed native pasture with no trees, native pasture with trees, improved pastures with trees, and intervened secondary forest. Superficial runoff and forest cover showed an inverse relationship in the cattle ranches evaluated; a negative correlation between forest cover and basal area, and superficial runoff was found. Infiltration capacity showed a positive correlation with forest cover and basal area; it implied that infiltration improved with forest cover. Silvopastoral systems showed intermediate runoff and infiltration values, evidencing potential benefits for pasture management and recovery in the Jabonal River sub-watershed.

**Keywords:** Silvopastoral systems; land use; runoff; infiltration; hydraulic conductivity; soil hydraulic conductivity; plant cover; pastures; Costa Rica.

## Introducción

La cuenca como unidad de gestión territorial constituye un espacio natural relevante para analizar los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones y acciones del ser humano sobre el uso y manejo de los recursos naturales. En el ámbito de una cuenca se da una estrecha interdependencia entre los subsistemas biofísicos y socioeconómicos; por ello, es necesario establecer mecanismos de gestión integral que permitan compatibilizar los intereses y necesidades de los habitantes y las actividades productivas y de conservación.

Las interacciones entre los componentes biofísicos y socioeconómicos en la cuenca -por ejemplo, a través de los usos de la tierra- dan lugar a cambios que afectan el ciclo hidrológico (Lluval y Uhl 1990). El cambio más importante en el uso de suelo en América Tropical en los últimos 30 años ha sido la conversión de bosques a pasturas (Kaimowitz 1996). Según la FAO (2001), en América Latina se pierden cerca de cinco millones de hectáreas de bosque natural por año; la mayor parte para establecer pasturas (Bilsborrow y Carr 2001). En América Central, muchas laderas se han erosionado

a causa del sobrepastoreo (Pezo et ál. 1992); de hecho, más del 50% de las tierras bajo pasturas presentan algún nivel de degradación (Szoot et ál. 2000).

El modelo tradicional de pastoreo en praderas sin árboles y la falta de tecnologías para una producción sostenible han ocasionado el avance de la frontera agrícola, la destrucción de grandes áreas de bosques naturales y el surgimiento de problemas ambientales como pérdida de diversidad biológica, degradación de suelos, contaminación de fuentes de agua y alteración del ciclo hidrológico (Murgüeitio et



ál. 2003). Los sistemas silvopastoriles son una opción para reducir los impactos ambientales negativos de los sistemas de producción ganadera tradicional (Pezo e Ibrahim 1996). Wilson y Ludlow (1991) indican que posiblemente la consecuencia más importante de los árboles en los sistemas silvopastoriles es su efecto positivo sobre el balance hídrico del sistema.

Varios estudios se han desarrollado con el propósito de evaluar el efecto del manejo de pasturas en los indicadores hidrológicos y edáficos, pero la mayoría se han realizado en zonas templadas (Rhoades et ál. 1964, Rauzi y Hanson 1966, Lusby 1970, McGinty et ál. 1979, Warren et ál. 1986, Yates et ál. 2000). El objetivo de este estudio fue evaluar parámetros hidrológicos y de cobertura vegetal en sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica.

## Materiales y métodos

### Ubicación

La investigación se realizó en fincas ubicadas en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, cuenca del río Barranca, Costa Rica, durante el periodo junio a noviembre del 2005. La subcuenca mide 42 km<sup>2</sup>, con un rango altitudinal que va desde 300 a 1400 msnm, aunque los sitios de estudio estuvieron ubicados alrededor de 700 msnm. El 33% del territorio de la subcuenca se dedica a la producción ganadera en áreas de alta vulnerabilidad ecológica. La zona presenta dos periodos pluviométricamente bien definidos: la época seca de diciembre a abril y la lluviosa de junio a noviembre. La precipitación anual es de cerca de 3200 mm. Los suelos predominantes son Inceptisoles, de textura franca a franca arcillosa, quebrados, fuertemente ondulados con zonas escarpadas y pendientes de 30 a 60%.

### Sistemas evaluados

Los sistemas evaluados fueron: pasturas nativas sobrepastoreadas, pasturas nativas con árboles, pasturas mejoradas con árboles y bosque secundario intervenido (Fig. 1). Se buscó que los sistemas seleccionados fueran representativos de la zona, que estuvieran en una zona de recarga de la subcuenca y que tuvieran similar tipo de suelo, con pendientes entre 30 y 35%. Las principales características de los sistemas se describen a continuación.

- Pasturas nativas sobrepastoreadas (PNS): establecidas hace diez años, no hay árboles, se encuentran

bajo pastoreo continuo; hay signos evidentes de compactación, erosión y degradación.

- Pasturas nativas con árboles (PNA): establecidas hace 15 años, se encuentran bajo pastoreo rotativo, el pasto predominante es *Brachiaria decumbens*, hay una abundancia mayor a 30 árboles por hectárea.
- Pasturas mejoradas con árboles (PMA): establecidas hace diez años, se encuentran bajo pastoreo rotativo, el pasto predominante es *Paspalum atratum*, hay una abundancia mayor a 30 árboles por hectárea.



Pasturas nativas sobre pastoreadas



Pasturas nativas + árboles



Pasturas mejoradas + árboles



Bosque secundario intervenido

**Figura 1.** Vistas de los sistemas evaluados en la subcuenca del río Jabonal, Barranca, Costa Rica

Fotos: Ney Ríos.



■ Bosque secundario intervenido (BSI): establecido hace 30 años, se encuentra bajo regeneración natural y con manejo selectivo, hay una abundancia mayor a 50 árboles por hectárea.

#### Variables evaluadas

**Cobertura vegetal:** se caracterizó la estructura horizontal y vertical en cada uno de los sistemas. La caracterización horizontal se realizó mediante un muestreo en una parcela de 20 x 50 m dividida en subparcelas de 10 x 10 m. En cada subparcela, con ayuda de un marco metálico de 0,50 m x 0,50 m se estimó visualmente el porcentaje de cobertura de pasto, maleza y suelo sin cobertura herbácea viva. La caracterización vertical se realizó mediante la estimación del porcentaje de cobertura vegetal en tres estratos: 0,0 – 2,0 m, 2,1 – 9,0 m y 9,1 – 20,0 m. En cada estrato se evaluó la riqueza y abundancia de árboles y arbustos, altura de los árboles, diámetro a la altura del pecho y área basal. Se realizaron correlaciones entre la cobertura vegetal y los parámetros hidrológicos evaluados con la finalidad de conocer el grado de relación entre ellos.

**Escorrentía superficial:** Se establecieron tres parcelas de escorrentía por sistema, con dimensiones de 5 m x 10 m (Fig. 2), separadas mediante láminas de hierro galvanizado de 15 cm de altura (10 cm sobre el suelo y 5 bajo el suelo). Para evitar la pérdida de agua escurrida durante lluvias mayores a 20 mm se usó un sistema de drenaje que permitiera recolectar la escorrentía superficial (Fig. 3); el segundo recipiente recolectaba sólo una fracción del agua escurrida (1/15) del primer recipiente. Las mediciones se registraron por las mañanas (6 – 9 am) durante el periodo de estudio. Para la medición del volumen de agua escurrida de las parcelas de escorrentía se utilizó una regla graduada en centímetros; en el recipiente 2 se midió el nivel del agua

y luego se vació. El recipiente 1 se mantuvo lleno de agua durante todo el periodo de evaluación. Además, se verificó que los recipientes quedarán nivelados para la próxima lectura: en el primero, para asegurar una pérdida de agua equitativa y en el segundo, para realizar la lectura del nivel de agua. Para el cálculo de la escorrentía superficial en cada parcela, el volumen medido en el segundo recipiente fue multiplicado por la cantidad de salidas del primer recipiente (15). La precipitación fue medida mediante el uso de un pluviómetro instalado en la parte superior de cada parcela de escorrentía, a 2 m de altura sobre el suelo.

**Infiltración:** La capacidad de infiltración se estimó con el método de inundación o anillos concéntricos. En forma simultánea, en la parte superior, media y baja de cada sistema se instalaron dos cilindros: uno interno de 30 cm de diámetro y 30 cm de altura y uno externo de 50 cm de diámetro y una altura de 20 cm. El anillo externo se introdujo en el suelo 5 cm y el interno 10 cm, el anillo externo se llenó y mantuvo con agua a una altura de 5 cm. La lectura se realizó en el anillo interno mediante una regla graduada a intervalos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos. Con los datos obtenidos se desarrollaron las ecuaciones de relación entre infiltración y tiempo para cada sistema con su respectivo coeficiente de regresión. La capacidad de infiltración se calculó con la ecuación de Kostiakov, según la metodología descrita por Henríquez y Cabalceta (1999), utilizando los valores del intercepto y pendiente obtenidos en la ecuación de cada sistema y el tiempo de referencia de una hora.

**Conductividad hidráulica (K):** La determinación del flujo de agua en el suelo saturado se realizó en dos fases: la fase de campo y la fase de laboratorio. En la fase de campo se recogieron muestras de suelo no disturbado al lado de cada una de las parcelas de

escorrentía; se usó un barreno y cilindros metálicos de 7,5 cm de diámetro por 7,5 cm de altura y 15 cm de profundidad. En la fase de laboratorio se hicieron las pruebas de conductividad hídrica en el suelo saturado, según la metodología descrita por Henríquez y Cabalceta (1999).

#### Análisis estadístico de los datos

Bajo un esquema de muestreo, se aplicó un análisis de varianza a los datos de escorrentía superficial e infiltración, para los diferentes sistemas (3 muestras por sistema). El modelo de análisis fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + E_{ij}$$

donde,  $Y_{ij}$  es la variable de respuesta,  $\mu$  es la media general,  $S_i$  es el efecto del  $i$ ésimo sistema y  $E_{ij}$  es el término de error aleatorio.

Para la conductividad hidráulica se utilizó un esquema de submuestreo (4 submuestras en cada parcela utilizada para escorrentía). No hubo repeticiones. Se aplicó un análisis de varianza según el modelo siguiente (Steel y Torrie 1988):

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + E_{ij} + Esm_{ijk}$$

donde  $Y_{ijk}$  es la variable de respuesta,  $\mu$  es la media general,  $S_i$  es el efecto del  $i$ ésimo sistema,  $E_{ij}$  es el término de error aleatorio y  $Esm_{ijk}$  es el error debido a la variación de las submuestras dentro de una muestra.

En los casos que los modelos evidenciaron diferencias estadísticas entre sistemas de uso de la tierra, se aplicó una prueba de Duncan para comparar las medias.

## Resultados y discusión

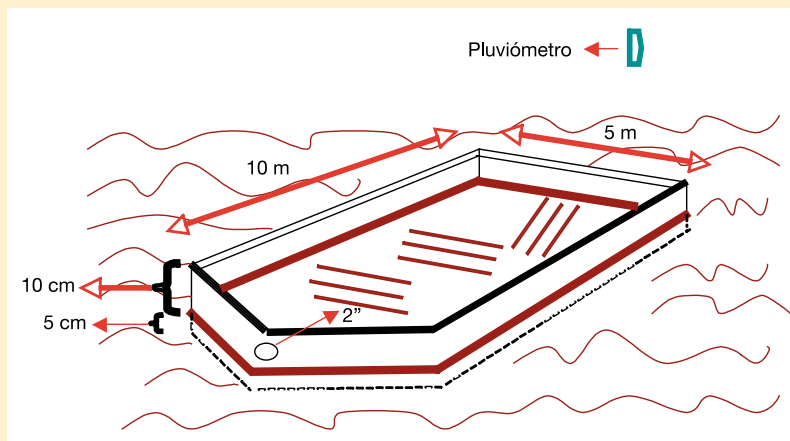
### Cobertura vegetal

Los resultados de cobertura vegetal (Fig. 4) muestran que el sistema PNS presenta una mayor área de suelo sin cobertura herbácea viva (60%), en comparación con los demás sistemas: PNA (46%), PMA (23%) y BSI (48%). La cobertura de pastos fue mejor en el PMA (62%), segui-

do por PNA (39%) y PNS (19%); en el bosque secundario intervenido no se encontraron pastos. Asimismo, este último sistema tuvo la mayor cobertura de malezas (52%), seguido por PNS (22%) y PNA/PMA (ambos con 15%). En cuanto a la estructura vertical (Fig. 5), el sistema PNS no presentó estructura vertical (ni árboles ni arbustos), en tanto que el BSI mostró los mayores valores en los tres estratos y fue el único sistema con una estructura vertical en el estrato de 9 a 20 m.

### Escorrentía superficial

Con base en 50 eventos pluviométricos ocurridos durante el periodo de evaluación, el umbral de escurrimiento (lámina de lluvia a partir de la cual se inicia la escorrentía superficial) fue de 2,5 mm en PNS, 2,7 mm en PNA, 3,2 mm en PMA y 12,6 mm en BSI. Estas marcadas diferencias se deben a que los tallos, hojas y ramas se comportan como una barrera física, absorben el impacto de las gotas del agua y actúan como una esponja que reduce y retarda la escorrentía superficial, especialmente en zonas de ladera (Alegre et ál. 2000). El bosque secundario intervenido necesitó seis veces más lluvia que las pasturas nativas sobrepastoreadas para generar escurrimiento superficial. El aumento de la interceptación de la precipitación en sistemas con mayor cobertura vegetal demuestra que los árboles afectan la dinámica hídrica, al incrementar la infiltración y la retención de agua (Young 1997). La escorrentía superficial fue cuatro veces mayor en PNS (28%) que en el BSI (7%) y dos veces más que en PMA (15%), aunque no presentó diferencia significativa con el PNA (27%). La escorrentía superficial tuvo influencia de la cobertura arbórea ( $r = -0,71$ ;  $p = 0,01$ ) y el área basal ( $r = -0,67$ ;  $p = 0,02$ ). Hong (1978) y Humphreys (1991) coinciden en que la escorrentía superficial se relaciona inversamente con la cobertura vegetal.



**Figura 2.** Esquema del diseño y dimensiones de la parcela de escorrentía, subcuenca del río Jabonal, Costa Rica



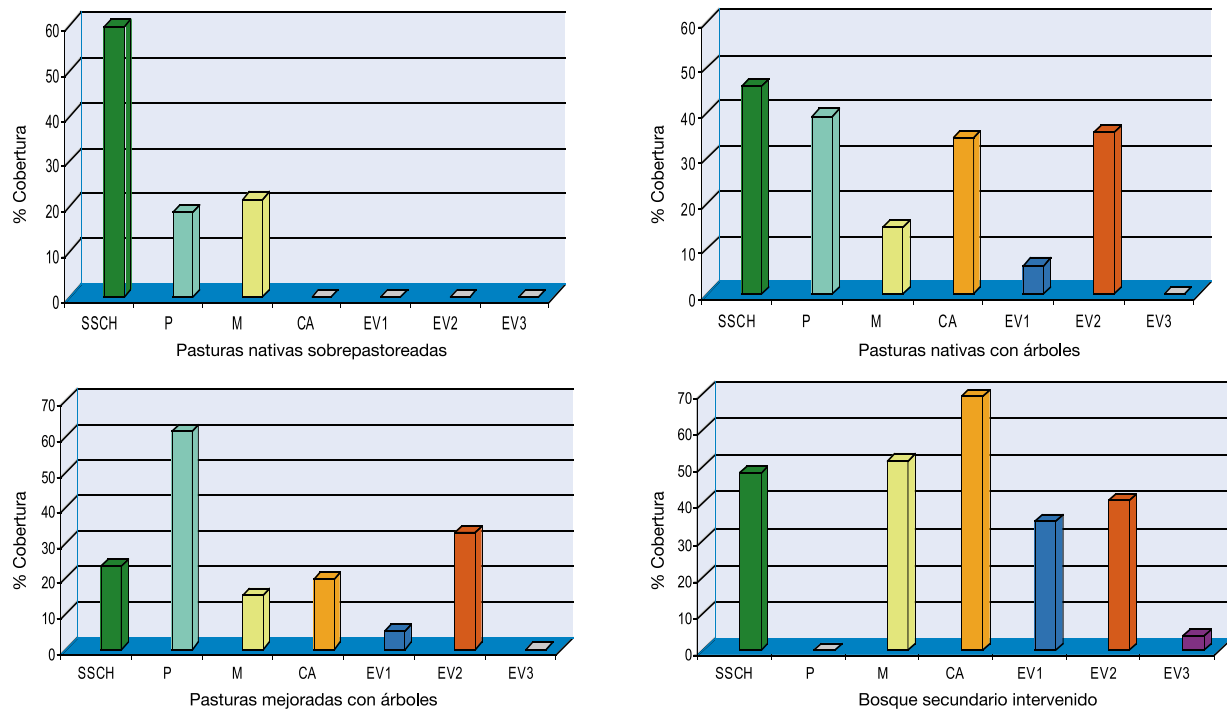
**Figura 3.** Prueba de infiltración con anillos concéntricos, subcuenca del río Jabonal, Costa Rica

El manejo que ha recibido cada sistema es un factor importante que influye en la escorrentía superficial. Así, se observó un incremento en la escorrentía superficial durante el periodo de pastoreo, posiblemente por efecto del pisoteo del ganado. Rhoades et ál. (1964) y Rauzi y Hanson (1966) afirman que a una mayor carga animal, mayor es la compactación del suelo y la escorrentía superficial y menor la infiltración. Cuando las pasturas no fueron pastoreadas, la escorrentía superficial disminuyó (hasta en 20%). Turcios (1994) reporta resultados similares.

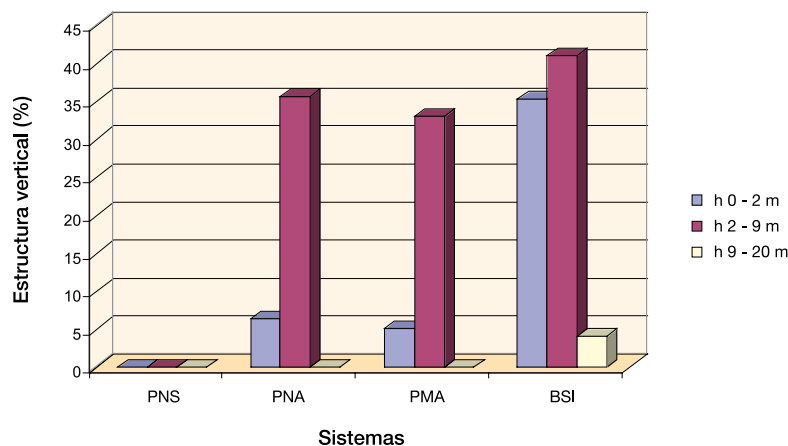
### Capacidad de infiltración

La capacidad de infiltración fue mayor en el BSI (3,54 cm/h), seguido por PMA (0,23 cm/h), PNA (0,19 cm/h) y PNS (0,07 cm/h). Tendencias similares encontró Suárez de Castro (1980) al comparar la eficiencia de infiltración entre bosque (68,9 %) y pastura (24,7%).

La capacidad de infiltración también es influenciada por la cobertura arbórea ( $r = 0,75$ ;  $p = 0,01$ ) y por el área basal ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,01$ ). Los sistemas con mayor cobertura presentaron los valores más altos debido, posiblemente, al efecto esponja



**Figura 4.** Caracterización vegetal en los sistemas silvopastoriles evaluados en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica  
 SSCH = suelo sin cobertura herbácea viva; P = pastos; M = maleza; EV1 = estructura vertical de 0 - 2 m; EV2 = estructura vertical de 2 - 9 m; EV3 = estructura vertical de 9 - 20 m.



**Figura 5.** Estructura vertical de los sistemas silvopastoriles evaluados en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica

PNS = pastura nativa sobrepastoreada; PNA = pastura nativa con árboles; PMA = pastura mejorada con árboles; BSI = bosque secundario intervenido; h = altura.

del *mulch* en el suelo (Adams 1966, Musgrave y Nichols 1942), lo cual pudiera contribuir a la recarga de los mantos freáticos. La intensidad del pastoreo en los sistemas ganaderos es un factor que afectó la capacidad de infiltración. Takar et ál. (1990) y Singh y Gupta (1990) reportaron también el efecto negativo de la compactación del suelo por pisoteo del ganado sobre la infiltración.

#### Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica del suelo depende de su estructura y textura (Henríquez y Cabalceta 1999). Los análisis de conductividad hidráulica arrojaron los siguientes resultados: PNS (1,24 cm/h), PMA (0,35 cm/h), BSI (0,20 cm/h) y PNA (0,10 cm/h); las diferencias fueron estadísticamente significativas. La


mayor conductividad en el PNS se puede explicar por el mayor espacio poroso en el suelo debido al sistema radicular y el brote masivo de las pasturas, ya que en el momento del muestreo se encontraban en descanso. En el PNA y el PMA, el pisoteo del ganado influyó negativamente en la conductividad hidráulica debido a la obstrucción parcial de la superficie a causa de la lluvia o el pisoteo del ganado, que transforma la superficie de un suelo estructurado en una capa con

mayor densidad aparente y baja porosidad y disminuye la conductividad hidráulica (Moore 1981 citado por Zhang et ál. 2001, Sadeghian et ál. 1997).

### Conclusiones

La escorrentía superficial mostró un comportamiento inverso a la cobertura arbórea en las fincas ganaderas. Se determinó una correlación negativa de la cobertura arbórea y del área basal con respecto a la escorrentía superficial.

La capacidad de infiltración presentó una correlación positiva con la cobertura de árboles y el área basal, lo que implica que la infiltración mejoró donde hay una mayor cobertura arbórea.

Los sistemas silvopastoriles presentaron características hidrológicas de escorrentía e infiltración intermedias entre las pasturas sobrepastoreadas y los bosques secundarios. Esto demuestra sus beneficios potenciales para recuperar y mejorar el manejo de pasturas en la cuenca del río Barranca, Costa Rica 

### Literatura citada

- Adams, J. 1966. Influence of mulches on runoff, erosion and soil moisture depletion. American Society of Soil Science. Proceeding (30):110-114.
- Alegre, J; Meza, A; Arévalo, L. 2000. Establecimiento de barbechos mejorados. Revista Agroforestería de las Américas (7): 27.
- Bilsborrow, R; Carr, D. 2001. Population, agricultural land use and the environment in developing countries. In Lee, DR; Barret, CB. Eds. Tradeoffs or synergies? Agricultural intensification, economic development and the environment. Wallingford, UK, CABI. p. 35-56.
- FAO (UN Food and Agriculture Organization). 2001. The Global Forest Resources Assessment 2000. Summary Report. Rome, IT, Committee on Forestry (Information Note, 15th Session, 12-16 March). 92 p.
- Henríquez, C; Cabalceta, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, CR, UCR. 122 p.
- Hong, A. 1978. Evaluation on the use of vegetative covers for soil conservation. Agricultural Journal of. Malaysia 51: 335 -342.
- Humphreys, L. 1991. Tropical pasture utilization. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 202 p.
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and deforestation in Central America in the 1980s: a policy perspective. Bogor, IN, CIFOR. 88 p.
- Lluval, J; Uhl, Ch. 1990. Transpiration rates for several woody successional species and for a pasture in the Upper Amazon basin in Venezuela. Acta Amazónica 20: 29-38.
- Lusby, GC. 1970. Hydrologic and biotic effects of grazing versus no grazing near Gran Junction, Colorado. Journal of Range Management 23: 256-260.
- McGinty, WA; Smeins, FE; Merrill, LB. 1979. Influence of soil, vegetation, and grazing management on infiltration rate and sediment of Edwards Plateau rangeland. Journal of Range Management 32 (1):33-37.
- Murgüeitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapato, A; Mejía, C; Casasola, F. 2003. Uso de la tierra en fincas ganaderas. Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto “Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas” Cali, CO, CIPAV. 97 p.
- Musgrave, G; Nichols, M. 1942. Organic matter in relation to land use. American Society of Soil Science. Proceeding (7): 22-28.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. Memoria [1er Foro Internacional sobre “Pastoreo intensivo sobre zonas tropicales”. Veracruz, México, 7 – 9 noviembre 1996]. Morelia, MX, FIRA – Banco de México. 39 p.
- \_\_\_\_\_; Romero, F; Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. In Fernández Baca (ed) Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. Santiago, CL, FAO. p. 47-98
- Rauzi, F; Hanson, C.1966. Water intake and runoff as affected by intensity of grazing. Journal of Range Management 19:351-356.
- Rhoades, E; Locke, L; Taylor, H; Mcilvain, E. 1964. Water intake on a sandy range as affected by 20 years of differential cattle stocking rates. Journal of Range Management 17:185-190.
- Sadeghian, S; Rivera, J; Gómez, M. 1997. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. In Conferencia electrónica de la FAO sobre “Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica”. Disponible en: <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/afri/ espanol/document/agrofor1/Agrofor1.htm>
- Singh, R; Gupta, M. 1990. Impact of grazing on infiltration in forest ecosystems. Journal of Tree Sciences 9(2): 82-85.
- Steel, R; Torrie, J. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. México D.F. McGraw-Hill / Interamericana de México. 622 p.
- Suárez de Castro, F. 1980. Conservación de suelos. IICA, San José, CR. 315 p.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The Hamburger connection hangover: cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR, CATIE-DANIDA-GTZ. 71 p. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 313).
- Takar, A; Dobrowski, J; Thurow, T. 1990. Influence of grazing, vegetation life-form, and soil type on infiltration rates and inter-rill erosion on Somalian rangeland. Journal of Range Management 43(6): 486-490.
- Turcios, W. 1994. Producción y valorización económica del componente hídrico y forestal de los robledales de altura bajo intervenciones silviculturales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 81 p.
- Warren, SD; Thurow, TL; Blackburn, WH; Garza, NE; 1986. The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics. Journal of Range Management 39(6):491-495.
- Wilson, J; Ludlow, M. 1991. The environment and potential growth of herbage under plantations. In Shelton, HM; Stür, WW. Eds. Forages for plantation crop. Canberra, AU, ACIAR. p. 10-24.
- Yates, CJ; Norton, DA; Hobbs, RJ. 2000. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in South-Western Australia: implications for restoration. Austral Ecology 25:36-47.
- Young, A. 1997. The potential of agroforestry for soil conservation and sustainable land use. In Seminar on land and water resources management. Washington D.C., World Bank. p. 303-317.
- Zhang, B; Horn, R; Baumgarti, T. 2001. Changes in penetration resistance of Ultisols from southern China as affected by shearing. Soil & Tillage Research 57:193-202.



# Percepción local acerca del papel de los bosques ribereños en la conservación de los recursos naturales en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras<sup>1</sup>

**Inty Arcos**

*iarcos@catie.ac.cr*

**Francisco Jiménez**

*CATIE. fjimenez@catie.ac.cr*

**Josué Aníbal León**

*CATIE. josueleonci@yahoo.es*

Comprender las percepciones de los productores en la microcuenca sobre el uso, aspiraciones y conflictos con los bosques ribereños es de fundamental importancia para elaborar propuestas de conservación y restauración viables en el contexto local. Es necesario que la sociedad en general y el gobierno local conozcan los beneficios que estos brindan, de manera que la conservación y restauración de los bosques ribereños sean consideradas en el plan de manejo de la cuenca y en las políticas de manejo de los recursos naturales.



Fotos: Inty Arcos, archivo CATIE.

<sup>1</sup> Basado en Arcos, TI. 2005. Efecto del ancho de banda de los ecosistemas ribereños en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 141 p.

## Resumen

Se exploraron las percepciones que sobre los bosques ribereños tienen 20 productores ubicados en la microcuenca del río Sesesmiles, Departamento de Copán, Honduras. Los productores destacan el valor de los bosques ribereños a nivel ambiental y socioeconómico. Sin embargo, existe una fuerte presión sobre estos bosques, ya que los suelos bajo la vegetación ribereña son apreciados para establecer cultivos y pasturas. Los productores utilizan algunos productos del bosque ribereño, como leña, madera y fruta, los cuales son parte importante de sus condiciones de supervivencia. Los productores perciben que es necesario recibir capacitación sobre el manejo de los bosques ribereños para recuperar y proteger un recurso en peligro de desaparición.

**Palabras claves:** Bosque de ribera; cuencas hidrográficas; microcuencas; conservación de los recursos; conservación de la naturaleza; calidad del agua; percepción local; Honduras.

## Summary

**Local perceptions about the role of the riparian forest in the natural resources conservation in Sesesmiles river micro-watershed, Copan, Honduras.** The local perceptions of 20 producers about riparian forests were explored. Producers are located along water courses in the Sesesmiles river micro-watershed, Copán, Honduras. They recognize the environmental and socioeconomic values of riparian forests. Nevertheless, there is a strong pressure on these forests, since soils under riparian vegetation are worthwhile for crops and pastures. Producers use some products from the riparian forest (fuelwood, wood and fruit), of primary importance for their livelihoods. Training on riparian forest management is necessary if recovering and protecting an endangered resource is pursued.

**Keywords:** Riparian forests; watersheds; micro-watersheds, resource conservation; nature conservation; water quality; local perceptions; Honduras.

## Introducción

La percepción local se expresa mediante las opiniones de los productores, las cuales reflejan su nivel de conocimiento acerca del medio ambiente que los rodea. Las percepciones pueden ser ampliamente compartidas; por ejemplo, los beneficios de mantener la vegetación ribereña con el fin de conservar fresca el agua de las quebradas. También pueden ser propias de unos pocos individuos; por ejemplo, la decisión de eliminar el bosque ribereño porque alberga serpientes venenosas o insectos que dañan los cultivos. Muchas percepciones son consistentes entre la población, otras no tienen ninguna o poca consistencia entre individuos (Sain 1997).

Para entender por qué los bosques ribereños son eliminados o conservados es importante conocer las percepciones de quienes viven en las zonas rurales, sobre las ventajas y desventajas de los bosques

ribereños para la conservación de los recursos naturales. Estos criterios pudieran ayudar al gobierno local en la definición de políticas, toma de decisiones y acciones de desarrollo rural que consideren los bosques ribereños desde diferentes perspectivas.

La vegetación ribereña es importante porque forma parte esencial de los ecosistemas fluviales; es una zona de ecotono o transición entre el medio acuático y el medio terrestre y recibe la influencia de ambos; además constituye un espacio compartido en el ciclo del agua, de los sedimentos y de los nutrientes (Tánago s.f.). Los suelos bajo la vegetación ribereña acumulan sedimentos y nutrientes erosionados de las laderas; por ello, estos suelos son muy apreciados para la agricultura por su alta concentración de nutrientes y alto porcentaje de humedad, condiciones que garantizan un rápido crecimiento de los cultivos.

Los suelos en estas áreas generalmente poseen una elevada capacidad de infiltración y retención, lo cual representa una gran reserva hídrica para la vegetación. A su vez, la vegetación amarra con sus raíces el suelo, con lo que mejora la estabilidad de los bancos en las márgenes de los ríos. La vegetación ribereña también almacena y retiene sedimentos y nutrientes, evitando así el arrastre hacia la parte baja de la cuenca. La existencia de amplias franjas ribereñas retrasa la formación de avenidas y disminuye considerablemente el porcentaje de agua de lluvia que llega a los cauces.

El aporte de materia orgánica a los sistemas fluviales por parte de la vegetación ribereña es fuente de energía para el inicio de las cadenas tróficas en los medios acuáticos. Si no hay vegetación ribereña se reducen considerablemente determinados grupos de macroinvertebrados y cambia la composición de las comunidades acuáticas.

En la microcuenca del río Sesesmiles hay bosques ribereños en la parte media y alta, principalmente. Estos bosques se encuentran bajo una fuerte presión, pues en estos terrenos es donde generalmente se establecen cultivos de maíz y frijol. Esta microcuenca es una zona con altas pendientes; en muchos lugares se ven cultivos establecidos en laderas con 55% de pendiente. Los bosques ribereños son eliminados y quemados, muchas veces dejando el suelo completamente descubierto, el cual es arrastrado por la lluvia a los cauces que fluyen por la microcuenca.

La toma final de decisiones sobre el manejo, protección y conservación de los bosques ribereños -y en general de los recursos naturales- depende principalmente de los productores y propietarios que viven y aprovechan los recursos. Con esta investigación se pretendió explorar la percepción local de los productores de la microcuenca del río Sesesmiles acerca del valor que tienen los bosques ribereños, los motivos para eliminarlos y las perspectivas a futuro de los productores en cuanto a estos bosques.

## Metodología

### El área de estudio

La investigación se realizó en la microcuenca del río Sesesmiles, subcuenca del río Copán, localizada en el occidente de Honduras, en la región fronteriza entre Honduras y Guatemala. La microcuenca está ubicada en el municipio de Copán Ruinas, departamento de Copán, entre las coordenadas 14°43' y 14°58' Norte, y 88°53' y 89°14' Oeste (MANCORSARIC 2003). El área presenta altitudes que varían de 600 a 1600 msnm en un área de 38 km<sup>2</sup>. Las comunidades localizadas en la microcuenca son: Sesesmil Primero, El Tigre, La Vegona, Sompopero, Sesesmil Segundo y Malcote. En total, 303 productores trabajan la tierra en la zona alta y media.

## Procedimiento metodológico

A través de recorridos en toda la microcuenca, se identificaron 120 productores con bosque ribereño dentro de sus fincas; de estos, 20 productores estuvieron dispuestos a colaborar. Mediante una entrevista semiestructurada exploratoria se evaluaron sus percepciones sobre los ecosistemas ribereños (Para más detalles ver Arcos 2005). La información recopilada se procesó y analizó mediante estadística descriptiva.

En un taller participativo se validó la información recolectada. Al taller asistieron 22 productores que tenían bosques ribereños en sus predios. Los productores son propietarios de la tierra; el tamaño

La toma final de decisiones sobre el manejo, protección y conservación de los bosques ribereños -y en general de los recursos naturales- depende principalmente de los productores y propietarios que viven y aprovechan los recursos. Con esta investigación se pretendió explorar la percepción local de los productores de la microcuenca del río Sesesmiles acerca del valor que tienen los bosques ribereños, los motivos para eliminarlos y las perspectivas a futuro de los productores en cuanto a estos bosques.

promedio de finca es de 26 hectáreas dedicadas al cultivo de café y ganadería, además se cultiva maíz y frijol para el consumo doméstico. La metodología utilizada en el taller fue adaptada de las herramientas participativas propuestas por Geilfus (1997); como primer paso se propició una lluvia de ideas, para que los productores expresaran sus puntos de vista acerca de los bosques ribereños. Luego, se realizó una matriz de evaluación del estado actual de

los recursos para explorar el estado actual de los ecosistemas ribereños y los productos que se extraen de allí. A continuación se trabajó con una matriz de análisis de conflictos con el objetivo de explorar las principales razones por las que se elimina el bosque ribereño.

## Resultados y discusión

### Valor del bosque ribereño

Para el 55% de los productores, el bosque ribereño tiene valor ambiental: conservación de la calidad del agua, conservación de especies de flora y fauna que ya no se encuentran en los cultivos ni en las pasturas y control de la erosión en las márgenes de los cauces. Un 45% de los productores piensa que los bosques ribereños tienen también un valor económico y social, ya que brindan productos como frutas, leña y madera para el consumo de la familia.

En opinión de los productores, el valor ambiental justifica la restauración de los ecosistemas ribereños y su conservación en la microcuenca del río Sesesmiles. El valor económico del bosque ribereño, especialmente desde un punto de vista de gestión sostenible de los ecosistemas naturales, es incalculable pues retrasa la formación de avenidas en los caudales, mejora la recarga de acuíferos, ayuda en la estabilización de las orillas y en la retención de sedimentos y nutrientes. Todo esto supone un enorme ahorro en inversiones para el mantenimiento de los cauces y una riqueza natural de agua, suelo, vegetación y fauna ribereña (Tánago s.f.). No obstante, estos beneficios son difusos y no siempre son percibidos por la sociedad, aunque todos se beneficien.

### Productos que se extraen del bosque ribereño

El 70% de los pobladores entrevistados extraen algún producto de las franjas de bosque ribereño. El 30% de los productores entrevistados en la parte media y alta de la

microcuenca conservan las franjas ribereñas con la intención de proteger el agua de los cauces que discurren por sus propiedades, ya que la vegetación proporciona sombra y, en época de sequías prolongadas, el agua se mantiene fresca para su consumo y el de sus animales.

Otros de los usos reportados fueron: leña para uso del hogar o para el beneficiado del café (44% de los productores), madera para la construcción y para postes de cercos (29%), frutas comestibles como zapote (*Pouteria sapota*), pacaya (*Chamaedorea tepejilote*) y lancetilla (*Chamaedorea* sp.) (27%).

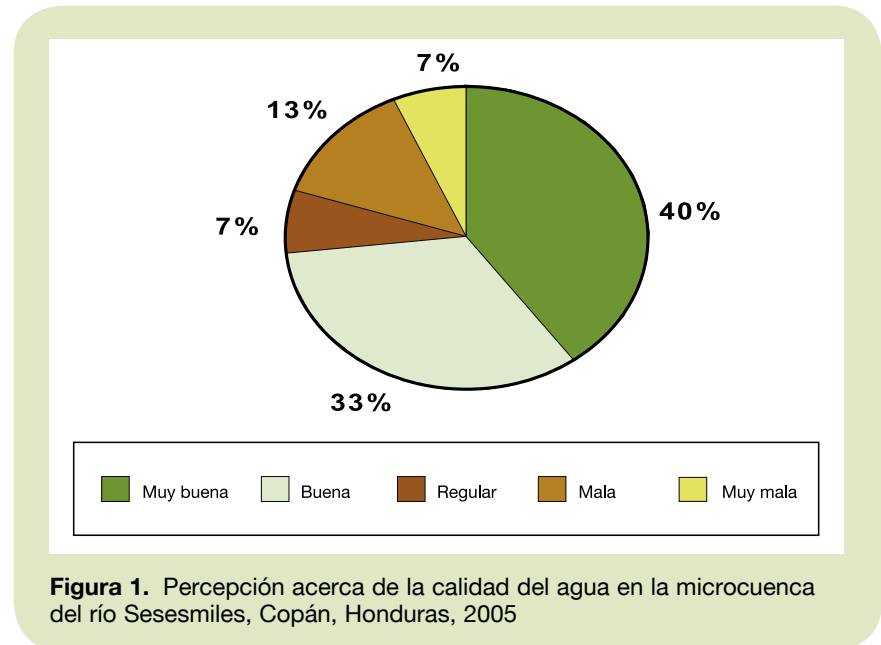
#### Uso del agua y contribución de los bosques ribereños a la calidad del agua

En la microcuenca, el 35% de los productores utiliza el agua de los ríos que aun conservan franjas ribereñas para el consumo del hogar, el 55% como abrevaderos para el ganado vacuno dentro de sus propiedades y el 10% da otros usos al agua: riego de huertas caseras, limpieza de establos y beneficiado de café. En general, los productores están satisfechos con la calidad del agua en los cauces que cuentan con bosques ribereños (Fig. 1).

#### Fauna en los bosques ribereños

Los bosques ribereños albergan gran cantidad de animales (Cecon 2003). Los productores afirman que el grupo de animales que más se observa son los mamíferos pequeños, como ardillas (*Sciurus* sp.), mapaches (*Procyon lotor*) y armadillos (*Dasyus novemcinctus*), seguidos por aves, reptiles, anfibios e insectos.

El 54% de los productores piensan que los animales del bosque ribereño traen beneficios a sus cultivos: polinización y control de plagas causadas por insectos. No obstante, el 46% creen que algunos animales son dañinos, como las serpientes que -según algunos productores- viven en la vegetación ribereña, los cone-



**Figura 1.** Percepción acerca de la calidad del agua en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras, 2005

jos (*Sylvilagus* sp.) y ardillas que comen el frijol, dañan la milpa y rompen las cuerdas que sirven de sostén a las matas de tomate. En las franjas ribereñas de la microcuenca del río Sesesmiles se encontraron 145 especies de aves de las 715 reportadas para todo el territorio hondureño y 49 familias y 11 órdenes de macroinvertebrados bentónicos, los cuales se asocian con el ancho de las franjas ribereñas (Arcos 2005, Inty et ál. 2005, pág. 29 en esta edición).

#### Deforestación de los bosques ribereños

Si bien los productores perciben la importancia ambiental y socioeconómica de los bosques ribereños para la comunidad, existen conflictos para su protección. Con frecuencia, los productores necesitan ampliar sus áreas de cultivo o pastura para aumentar su productividad, aunque esto no signifique necesariamente aumentar sus ingresos. Así, el 85% de los productores entrevistados ha cortado el bosque ribereño en los últimos diez años por las siguientes razones: para sembrar cultivos de café, maíz y frijol (46%), para establecer pasturas (36%) y para aprovechar la madera en la construcción y como postes (18%).

Los conflictos de los productores con respecto a la deforestación de los bosques ribereños se producen porque estos se ubican donde generalmente se acumula la materia orgánica de los suelos que se erosionan en laderas sin vegetación de las microcuencas. Por consiguiente, los suelos bajo los bosques ribereños son muy apreciados por los agricultores ya que son muy fértiles y, en un país donde es difícil abastecerse de agua en la época seca, los suelos bajo los bosques ribereños brindan óptimas condiciones físicas, químicas y biológicas para el crecimiento de cultivos y pastizales (Tanágo s.f.). Este hecho ha motivado la ocupación casi generalizada de las riberas de los ríos para los cultivos agrícolas, ya sea de secano o de regadío, y pasturas en la microcuenca del río Sesesmiles.

Aparte de la agricultura, se ha dado otros usos a la vegetación ribereña, como la extracción de madera y leña, lo cual han deteriorado o eliminado por completo la funcionalidad de la vegetación (Ibero et ál. 1996). En la mayoría de los ríos, la vegetación ribereña se restringe a una estrecha franja de orilla, y mínima o nula en las zonas de mayor producción agropecuaria.



La destrucción de los bosques ribereños implica no solamente la extinción de animales y plantas, sino también la pérdida de conectividad entre parches de bosques (Tánago s.f.). De hecho, la fragmentación es una característica del paisaje agropecuario en Centroamérica. Dado el creciente deterioro ambiental y el aumento de la demanda por recursos, se debe incentivar la investigación, conservación y recuperación de los bosques ribereños en las cuencas y microcuencas, tanto a nivel nacional como municipal.

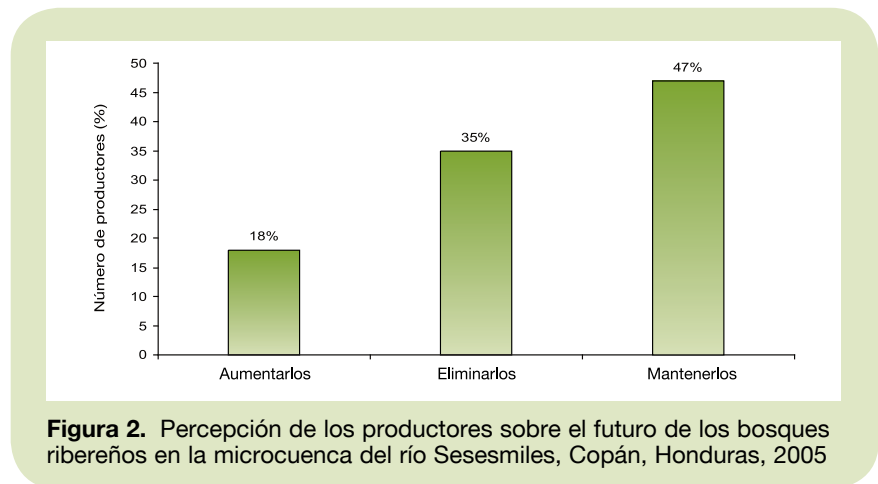
### Capacitación de los productores en el manejo de los bosques ribereños

El 90% de los productores nunca han recibido capacitación acerca del manejo o protección de los bosques ribereños, y tampoco saben lo que establece la legislación vigente acerca del ancho de franjas ribereñas. Sin embargo, el 75% de los pobladores piensan que es necesario recibir capacitación sobre el tema, y que el gobierno vigile el cumplimiento de las leyes de protección de estos ecosistemas. En cuanto al futuro de los ecosistemas ribereños en sus fincas, el 65% de los productores planea mantenerlos, aumentarlo y protegerlos (Fig. 2).

### Conclusiones

Existen muchas razones hidrológicas y ecológicas que justifican la conservación y restauración de los ecosistemas ribereños en la microcuenca del río Sesesmiles; una de ellas es su ubicación estratégica aguas arriba de la ciudad de Copán Ruinas, a la cual abastece de agua. Copán Ruinas es un importante destino turístico en Honduras, lo que aumenta el valor y la trascendencia económica de la microcuenca.

Comprender las percepciones de los productores en la microcuenca sobre el uso, aspiraciones y conflictos con los bosques ribereños es de fundamental importancia para elaborar propuestas de conserva-



**Figura 2.** Percepción de los productores sobre el futuro de los bosques ribereños en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras, 2005

ción y restauración viables en el contexto local. Es necesario que no solo los productores se capaciten en el manejo de los bosques ribereños, sino que la sociedad en general y el gobierno local conozcan los beneficios que estos brindan, de manera que la conservación y restauración de los bosques ribereños sean consideradas en el plan de manejo de la cuenca y en las políticas de manejo de los recursos naturales.

### Recomendaciones

Es necesario profundizar aun más en el conocimiento y percepción local sobre el bosque ribereño, ya que los puntos de vista de los actores locales son fundamentales para el manejo integrado de la microcuenca. Además, se deben enriquecer

las franjas ribereñas con especies nativas maderables que establezcan los taludes e incrementen la disponibilidad de leña y madera, y que aumenten la retención e infiltración de la escorrentía superficial.

Se debe apoyar a los productores con el establecimiento de bebederos dentro de los potreros. Con esto se evita que el ganado vaya a beber agua directamente de los ríos, lo que reduce la destrucción del bosque ribereño y la contaminación del agua.

### Agradecimientos

A los productores don Alfredo Morales, don Marco Antonio Guerra, don Javier Morales, don Ángel Pérez Morales, por la colaboración recibida. A Karim Musálem y Nina Duarte, por la asesoría recibida. Con mucho cariño.

### Literatura citada

- Arcos, T.I. 2005. Efecto del ancho de banda de los ecosistemas ribereños en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 141 p.
- Ceccon, E. 2003 Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias* 72: 46-53.
- Ibero, CC; Alvarez, C; Blanco, J; Criada, J; Sánchez, A; Viada, C. 1996. Ríos de vida: el estado de conservación de las riberas fluviales en España. Madrid, España, Sociedad Española de Ornitología/Bird Life.
- Geilfus, F. 1997. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, participación, monitoreo y evaluación. San Salvador, SV, Prolachate- IICA. 208 p.
- MANCORSARIC (Mancomunidad de Municipios de Copán Ruinas, Santa Rita, Cabañas y San Jerónimo). 2003. Manejo de la subcuenca del río Copán para la protección del parque arqueológico de Copán Ruinas. (Perfil del proyecto). Santa Rita de Copán, HN, CATIE / MANCORSARIC. 33 p.
- Tánago, MG. s.f. Las riberas, elementos clave del paisaje y en la gestión del agua. Madrid, ES, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Forestal.
- Sain, G. 1997. Seminario-taller sobre la adopción de tecnologías: la percepción del agricultor y sus implicaciones para la elaboración de políticas, 1-3 diciembre, CIMMYT, San José (Costa Rica). PROFRIJOL. Programa en Agricultura. San José, CR, IICA. 350 p.

# Potencial de generación de servicios ambientales en bosques ribereños de la microcuenca del río Araquá, São Paulo, Brasil

**Valdemir Antonio Rodrigues**

*Profesor de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UNESP, Botucatu, San Paulo, Brasil  
valdemirrodriques@fca.unesp.br*

**Francisco Jiménez Otárola**

*CATIE. fjimenez@catie.ac.cr*

**Aretha Medina dos Santos Oliveira**

**Fernanda Diniz Silva**

*Estudiantes de 5o año de Ingeniería Forestal, UNESP, Botucatu, San Paulo, Brasil*

La microcuenca se encuentra relativamente estable desde el punto de vista de la conservación ambiental y de potencial de producción de servicios ambientales.

Los resultados de la morfometría son indicativos de un suelo permeable con alta relación infiltración/caudal total, lo que indica una baja susceptibilidad a la degradación ambiental.

Las condiciones de la red de drenaje y la extensión de las áreas de preservación permanente favorecen la generación de servicios ambientales a lo largo del tiempo y del espacio, en beneficio de la sociedad y del ambiente.



Fotos: Valdemir Antonio Rodrigues.

## Resumen

Se determinaron los principales parámetros que conforman la morfometría de la microcuenca del río Araquá, en São Paulo, Brasil y se analizó su relación con el comportamiento hídrico, los bosques ribereños, las características de la vegetación arbórea y el potencial para producir servicios ambientales. Los resultados de la morfometría son indicativos de un suelo permeable con alta relación infiltración/caudal total, lo que indica una baja susceptibilidad a la degradación ambiental. La microcuenca tiene una área 31,7 km<sup>2</sup>, una red de drenaje de 42,5 km de longitud y 304,5 ha de área de preservación permanente, todo lo cual favorece la generación de servicios ambientales. Los bosques ribereños ocupan el 9,6% del área de la microcuenca y albergan el 60% de las 35 especies arbóreas identificadas. En términos de sucesión ecológica, de las 35 especies identificadas, 60% son secundarias, 25,7% pioneras y 14,3% en fase final de sucesión ecológica (clímax). La microcuenca se encuentra relativamente estable desde el punto de vista de la conservación ambiental y producción potencial de servicios ambientales; presenta importantes características fisiográficas naturales, alto excedente hídrico con seis cascadas y relieve con exposición de rocas y bosques preservados con diversidad de especies y bellezas escénicas propicias para el ecoturismo.

**Palabras claves:** Bosques de ribera; cuencas hidrográficas; microcuencas; servicios ambientales; ecoturismo; Brasil.

## Summary

**Potential for environmental services generation in Araquá River watershed, São Paulo, Brazil.** Morpho-parameters for the Araquá River microwatershed were determined, and analyzed their relationship to water production, riparian forests conservation, trees population and potential for environmental services production. Measurements indicate that soils are permeable, with a high infiltration/total flow relation, which denotes a high capacity for environment conservation. The microwatershed area is 31,7 km<sup>2</sup>, with a 42,5 km-long draining system and a 304,5 ha permanent preserving area. These conditions favor the environmental services generation. Riparian forests cover 9,6% of the microwatershed, and house 60% of the 35 tree species identified. According to ecologic succession, 60% of identified tree species are secondary, 25,7% are pioneer, and 14,3% are climax species. The microwatershed is in relatively good condition for environmental conservation and generation of services; it also has physiographic characteristics, a good level of water production (6 waterfalls), exposed rocks, well preserved forests with a variety of flora species, and scenic beauty for ecotourism facilities.

**Keywords:** Riparian forests; watersheds; microwatersheds; environmental services; ecotourism; Brazil.

## Introducción

Los bosques ribereños que ocurren en los márgenes de la red de drenaje de las microcuencas ejercen importantes funciones hidrológicas y ecológicas; entre ellas, protección de los cauces, protección y retención de los suelos, producción de agua y mantenimiento de su calidad, protección de la biodiversidad, refugio y alimentación a la fauna, regulación los cursos de agua. Debido a lo importante de estas funciones, el Código Forestal Brasileño

califica a estos bosques como áreas de preservación permanente.

La drástica reducción y fragmentación de los bosques ribereños en los últimos años en Brasil ha causado aumentos significativos en los procesos de erosión del suelo, lo cual perjudica la hidrología regional, reduce la biodiversidad y degrada extensas áreas (Barbosa 1999). Según Lima (1999), la salud de la microcuenca depende de la perpetuación de su funcionamiento hidrológico, de su potencial pro-

ductivo a lo largo del tiempo y de la biodiversidad en todo el paisaje (bosques ribereños, reservas de vegetación natural, etc.). En consecuencia, en la búsqueda de la sostenibilidad de los recursos naturales, la planificación, el manejo y la gestión de cuencas han incorporado el uso de enfoques sistémicos y socioambientales para desarrollar procesos de largo plazo. En estos enfoques, el agua es el recurso estratégico e integrador del manejo de la cuenca (Jiménez 2004).





La microcuenca del río Araguá presenta importantes características propicias para la generación de servicios ambientales

Foto: Valdemir Antonio Rodrigues.

La morfometría de una microcuenca es una importante herramienta de diagnóstico de las condiciones fisiográficas naturales y de la susceptibilidad a la degradación ambiental. Los parámetros de análisis, tales como factor de forma, densidad de drenaje y declive del terreno ayudan en el planeamiento, manejo e implementación de acciones para la conservación de los recursos naturales. La microcuenca del río Araguá -municipio de Botucatu, São Paulo, Brasil (22°47'23" - 22°53'48" Sur y 48°29'00" - 48°32'45" Oeste; 900 msnm)- presenta importantes características fisiográficas naturales para usos múltiples como ecoturismo y educación ambiental, además de prestar diferentes servicios ambientales. Este estudio tuvo como objetivos calcular los parámetros morfométricos y hacer inferencias de las condiciones de conservación de la microcuenca, identificar las especies arbóreas y los estadios de sucesión ecológica, cuantificar el área de preservación permanente y analizar el potencial para la generación de servicios ambientales en la microcuenca.

Para la **determinación de la morfometría** se delimitó la microcuenca siguiendo la divisoria topográfica según la base cartográfica IBGE, escala 1:50.000. El área y el perímetro se calcularon con el programa ATOCAD r-14. El factor de forma se determinó como la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la microcuenca, según la ecuación propuesta por Horton (1945). A partir de la identificación y cuantificación de todos los canales de drenaje, se determinó el orden de la microcuenca y su clasificación según la red de drenaje (Strahler 1957). La densidad de drenajes (Dd) se calculó como la relación entre la longitud total de los canales de drenaje (Cr) y el área de la microcuenca:  $Dd = Cr/A$  ( $km/km^2$ ) (Horton 1945). Según França (1968), la densidad de drenajes puede ser baja (<1,5), media (1,5 a 2,5) o alta (>2,5).

La relación de textura (T) se calculó según la propuesta de Smith (1950), con la modificación propuesta por França (1968). Esta relación corresponde a la razón entre el número total de ríos de la cuenca (Nw1) y su respectivo perímetro (P):

$T = Nw1/P$ , y se expresa en número de ríos por kilómetro. Las clases de textura topográfica se clasifican en grosera (<2,5), media (2,5 - 6,2) y fina (>6,2). La amplitud altitudinal se calculó como la diferencia altimétrica entre la cota mayor en la cabecera y la cota menor en la salida de la microcuenca. La frecuencia de ríos (Fr) se calculó con la fórmula  $Fr = (Nw1)/A$ , donde Nw1 es el número total de ríos de primer orden y A es el área de la microcuenca en  $km^2$ .

La razón de bifurcación (Rb) se calculó como la media aritmética de la relación entre el número de segmentos de ríos de un orden dado, con respecto al orden más alto. Para este parámetro se utilizó la fórmula de Horton (1945):  $Rb = [(Nw1/Nw2) + (Nw2/Nw3) + (Nw3/Nw4)] / 3$ , donde Nw 1= es el número de canales de drenaje de primer orden, Nw 2= el número de canales de drenaje de segundo orden, Nw 3= el número de canales de tercer orden y Nw4= número de canales de cuarto orden.

El declive medio (D%) de la microcuenca fue calculado con base en la fórmula de Wisler y Brater 1964, citada por Lima (1986):  $D = (\sum Cn \times \Delta H) / A$ , donde  $\sum Cn$  es la sumatoria de longitud de las cotas (km),  $\Delta H$  es la equidistancia entre dos cotas (km) y A es el área de la microcuenca. A partir del cálculo de la clase de declive, se determinó el tipo de relieve de la microcuenca: plano (0-3%), ondulado suave (3-8%), ondulado (8-20%), ondulado fuerte (20-45%), montañoso (45-75%) o escarpado (>75) (EMBRAPA 1999).

La vegetación de la microcuenca corresponde a bosque estacional semideciduo y bosque ribereño. Para la **identificación de las especies arbóreas** se marcaron individuos cada 20 m a lo largo de un transecto de 800 metros de longitud, desde la parte alta hasta la red de drenaje. Las especies arbóreas del bosque ribereño fueron identificadas con su nombre vernácu-



lo en tres parcelas continuas de 10 x 30 m hasta el cauce del río; para ello se contó con la ayuda de un leñador de la zona. Los nombres científicos, familias y sucesión ecológica se obtuvieron mediante claves de identificación, literatura especializada y comparación con material de herbarios.

La vegetación ribereña que ocurre a lo largo de cualquier curso de agua o nacientes se considera como **áreas de preservación permanente (APP)** según la legislación brasileña. Las dimensiones totales de las APP en la franja ribereña (Fr) varían con la longitud de los riachuelos, ríos, canales o red de drenaje de la microcuenca y se fijan conforme al ancho de los ríos, según lo establece el Código Forestal Brasileño, Ley 4.771/65, modificada por las Leyes 7.803/89 y 7.875/89:

- Fr = 30 m a cada lado, para ríos de menos de 10 m de ancho
- Fr = 50 m a cada lado, para ríos entre 10 y 50 m de ancho
- Fr = 100 m a cada lado, para ríos entre 50 y 200 m de ancho
- Fr = 200 m a cada lado, para ríos entre 200 y 600 m de ancho
- Fr = 500 m de cada lado, para ríos con más de 600 m de ancho
- Radio de 50 m de ancho en las nacientes perennes o intermitentes

Para todos los canales de drenaje de la microcuenca de primer orden, las cabeceras de las nacientes en un radio de 50 m fueron consideradas como APP, lo mismo que los 30 m de bosque ribereño en la margen a cada lado del río.

La vegetación de bosque estacional semidecídulo y bosque ribereño de la microcuenca del río Araquá se encuentra en buenas condiciones de preservación, por lo que efectivamente contribuye a la protección de los cauces y provisión de servicios hidrológicos y ecológicos que ayudan a mantener la calidad del agua y la integridad de la microcuenca.

## Resultados y discusión

### Análisis morfométrico

La medición del área de la microcuenca es importante, ya que esta variable tiene correlación con otros parámetros morfométricos, además de su importancia para el cálculo del balance hídrico. El Cuadro 1 presenta los parámetros morfométricos de la microcuenca del río Araquá. La microcuenca posee un factor de forma bajo, lo cual indica su baja susceptibilidad a la degradación. Cuanto menor sea el factor de forma, más alargada es la microcuenca, por lo tanto, disminuye el riesgo de concentración rápida del agua proveniente de las lluvias en el cauce principal, con lo que disminuye la sedimentación, inundaciones y degradación ambiental. La densidad de drenajes también es baja; según França (1968); este paráme-

tro refleja la influencia del origen geológico, de la topografía, de los tipos de suelo, de la vegetación y de las intensidades de infiltración y de escurrimiento superficial del agua. En cuanto al orden de la microcuenca (W), se identificaron y cuantificaron los siguientes órdenes: Nw1= 23 cauces o canales; Nw2= 6 cauces; Nw3= 2 cauces y Nw4= 1 cauce; por ello la microcuenca se clasifica como de cuarto orden. Además, la razón de bifurcación o ramificación de la microcuenca presenta un valor bajo; al relacionarla con el estado de conservación, los resultados sugieren una baja tendencia al escurrimiento superficial de las aguas de lluvia y, consecuentemente, mayor capacidad de infiltración del agua en el suelo.

La densidad de drenajes también fue baja, según la clasificación propuesta por Strahler (1957). Esto permite inferir que el sustrato de la microcuenca es relativamente permeable, lo cual le confiere característica de funcionamiento hidrológico estable. La red de drenaje presenta una razón de bifurcación de 2,94 cauces o canales de orden inferior por cada canal de orden superior. Este escenario hidrográfico permite cuantificar una frecuencia de ríos de 0,73 cauces de primer orden por km<sup>2</sup> de área de la microcuenca. La razón de textura (T) de 0,88 indica un relieve con pocos recortes y textura topográfica gruesa. La microcuenca presenta un diferencial entre la cota máxima y mínima de 380 m de amplitud altitudinal.

El declive tiene relación importante con varios procesos hidrológicos tales como la infiltración, velocidad de escurrimiento del agua de lluvia

**Cuadro 1.** Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Araquá

A (km <sup>2</sup> )	APP (km <sup>2</sup> )	P (km)	D (%)	Dd (K/km <sup>2</sup> )	H (m)	Ff	Fr	W	T	Rb
31,66	3,05	26,01	14,0	1,34	380	0,27	0,73	4º	0,88	2,94

A = área, APP = área de preservación permanente, P = perímetro, D = declive medio, Dd = densidad de drenajes H = amplitud altitudinal, Ff = factor de forma, F = frecuencia de ríos, W = orden de la microcuenca, T = razón de textura, Rb = razón de bifurcación

y humedad del suelo. Este es uno de los factores principales que regulan los procesos erosivos, el tiempo de duración del escurrimiento superficial y la concentración del agua de lluvia en el cauce principal: entre mayor es el declive, mayor es la velocidad de escurrimiento y menor la infiltración y la posibilidad de recargar la humedad del suelo. El declive medio calculado de 14,0%, corresponde a un relieve clasificado como ondulado, según EMBRAPA (1999).

Los valores de frecuencia de ríos, densidad de drenaje y textura son bajos, lo cual refleja las características y propiedades de los suelos –originados en arenita alterada– y el relieve ondulado predominante. Estos factores, junto con la cobertura vegetal, favorecen la mayor infiltración de la lluvia y la menor escorrentía superficial que caracterizan a la microcuenca del río Araquá con una alta relación entre infiltración y caudal total.

#### Área potencial de los servicios ambientales de los bosques ribereños

La microcuenca presenta una red de drenaje de 42,5 km de longitud, con cauces o canales menores de 10 m de ancho (Fig. 1). La franja ribereña debe ser, entonces, de 30 m de ancho a cada lado del cauce; o sea, 3,05 km<sup>2</sup> (304,5 ha) de APP. Esta área sugiere un alto potencial para la generación de servicios ambientales a largo del tiempo y del espacio.

En el inicio de los segmentos de ríos de primer orden, se consideró también a las cabeceras de las nacientes como APP, para cuantificar el área de bosque ribereño potencial para la producción de servicios ambientales en la microcuenca (Fig. 1). Durante el trabajo de campo se encontraron variaciones en las dimensiones de la APP, debido al área variable de afluencia del agua, que se expande y retrae según la época de lluvia o sequía. A lo largo del lecho del río también se observaron caídas abruptas del relieve,

con lo que se forman cascadas de gran belleza escénica, propicias para la práctica del ecoturismo.

El principal servicio ambiental de la vegetación ribereña es la protección de los manantiales. Las áreas de preservación permanente revegetadas y preservadas son unidades básicas de protección de la microcuenca y de la biosfera, pues generan servicios ambientales como conservación de la biodiversidad, secuestro de carbono, regularización de los cursos de aguas, belleza escénica, refugio a la fauna ribereña, salud hidrológica del ecosistema ribereño con producción de agua para las generaciones futuras.

#### Identificación de la vegetación

El Cuadro 2 muestra los resultados del inventario florístico practicado en la microcuenca del río Araquá. La vegetación de bosque estacional semideciduo y bosque ribereño de

la microcuenca del río Araquá se encuentra en buenas condiciones de preservación, por lo que efectivamente contribuye a la protección de los cauces y provisión de servicios hidrológicos y ecológicos que ayudan a mantener la calidad del agua y la integridad de la microcuenca. De las 35 especies arbóreas identificadas, 21 ocurren en el APP; el 60% de las especies están presentes en los bosques ribereños. En el bosque estacional semideciduo (Bes) y el bosque ribereño (Br) se encuentran procesos sucesionales de desarrollo, con 25,7% de especies pioneras, 60% de especies secundarias y 14,3% de especies en su fase clímax. El 31,4% de las especies forestales están presentes en el ecosistema ribereño, en tanto que el 28,6% de las especies ocurren en ambos ecosistemas; el 40,0% ocurren solamente en el bosque estacional semideciduo.

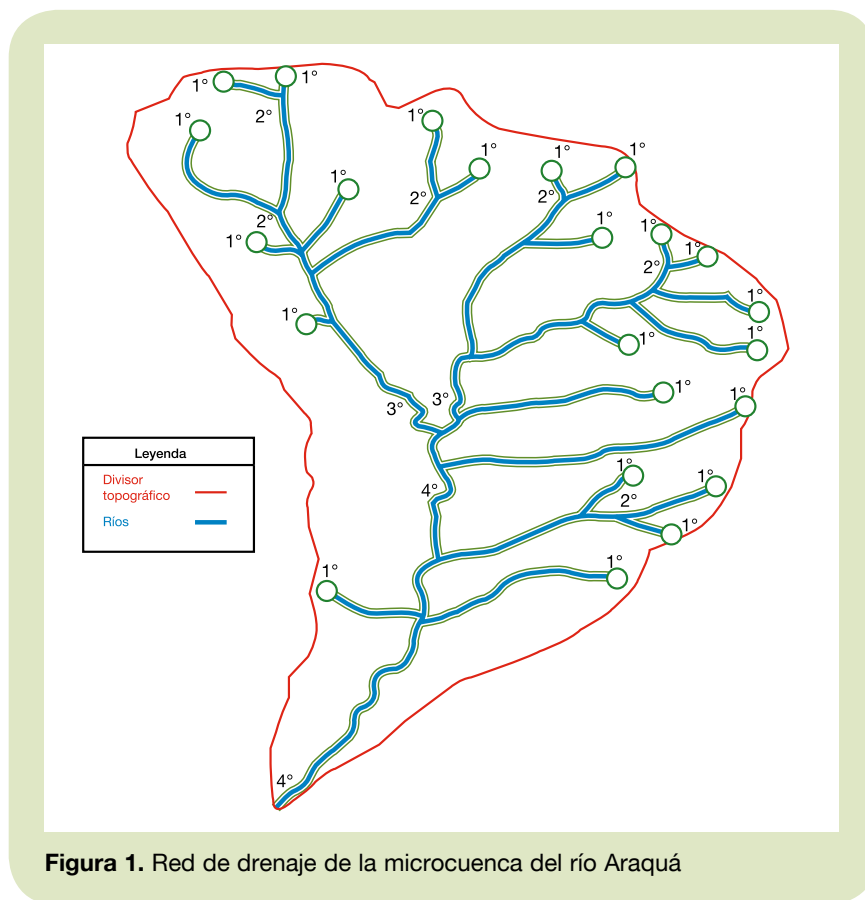


Figura 1. Red de drenaje de la microcuenca del río Araquá

## Conclusiones

La microcuenca se encuentra relativamente estable desde el punto de vista de la conservación ambiental y de potencial de producción de servicios ambientales. Los resultados de la morfometría de la microcuenca son indicativos de un suelo permeable con alta relación infiltración/caudal total, lo que indica una baja susceptibilidad a la degradación ambiental.

Las condiciones de la red de drenaje y la extensión de las áreas de preservación permanente favorecen la generación de servicios ambientales a lo largo del tiempo y del espacio, en beneficio de la sociedad y del ambiente.

Aunque solamente ocupan el 9,6% del área de la microcuenca, los bosques ribereños albergan 60% de las 35 especies arbóreas identificadas. Este bosque se encuentra

bien desarrollado, con sotobosque y diversidad de plantas para el secuestro de carbono y protección a los canales de drenajes; además cumple con importantes servicios hidrológicos y ecológicos que contribuyen al mantenimiento de la calidad y producción del agua y a la integridad de la microcuenca.

La microcuenca presenta importantes características fisiográficas naturales, alto excedente hídrico con seis cascadas, relieve con exposición de rocas y bosques preservados con diversidad de especies y bellezas escénicas, propicias para el ecoturismo.

**Cuadro 2.** Inventario florístico de la microcuenca del río Araquá

Nombre común	Nombre científico	Familia	TP	SE
Açoita cavalo	<i>Luehea caudicans</i>	Tiliaceae	Bes	S
Algodão	<i>Bastardiopsis densiflora</i>	Malvaceae	Br	P
Angico	<i>Pipitadenia</i> sp.	Mimosaceae	Br + Bes	S
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	Fabaceae	Br + Bes	S
Cabreúva	<i>Myroxylon balsamum</i>	Fabaceae	Bes	C
Cajarana	<i>Cabrlea canjarana</i>	Meliaceae	Bes	S
Caleandra	<i>Calliandra tweedii</i>	Mimosaceae	Br	S
Canelinha	<i>Nectandra megapotamica</i>	Lauraceae	Br + Bes	S
Canela de cutia	<i>Diplokeleba floribunda</i>	Sapindaceae	Br	S
Catiguá	<i>Trichilia clausenii</i>	Meliaceae	Br + Bes	S
Caviúna	<i>Machaerium scleroxylon</i>	Fabaceae	Br + Bes	C
Casca danta	<i>Drimys brasiliensis</i>	Winteraceae	Br	S
Copaíba	<i>Copaifera longsdorffii</i>	Caesalpinaceae	Br	C
Croton	<i>Croton floriundus</i>	Euphorbiaceae	Bes	P
Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i>	Cecropiaceae	Bes	P
Figueira	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae	Bes	P
Goiabeira	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	Br	P
Guajuvira	<i>Patanagonula americana</i>	Boraginaceae	Bes	S
Guapuruvu	<i>Schizolobium parahyba</i>	Caesalpinaceae	Br + Bes	P
Ingá	<i>Inga</i> sp.	Mimosaceae	Br	P
Jaracatiá	<i>Jaracatia spinosa</i>	Caricaceae	Bes	P
Jerivá	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Palmae	Bes	S
Juá	<i>Solanum</i> sp.	Solanaceae	Br	P
Monjoleiro	<i>Acacia polyphylla</i>	Mimosaceae	Br	S
Paineira	<i>Chorisia speciosa</i>	Bombacaceae	Bes	S
Pata de Vaca	<i>Bauhinia forticata</i>	Caesalpinaceae	Br + Bes	S
Pau magro	<i>Cupania oblongifolia</i>	Sapindaceae	Br + Bes	S
Pau d' alho	<i>Gallesia integrifolia</i>	Phytolacaceae	Br + Bes	S
Pau Pombo	<i>Tapirira guianensis</i>	Anarcadiaceae	Bes	S
Piper	<i>Piper</i> sp.	Piperaceae	Br + Bes	S
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	Myrtaceae	Bes	C
Saguaragi	<i>Colubrina glandulosa</i>	Rhamnaceae	Bes	C
Sapuva	<i>Machaerium acutifolium</i>	Fabaceae	Bes	S
Tarumã	<i>Vitex cymosa</i>	Verbenaceae	Br	S
Trema	<i>Trema micrantha</i>	Ulmaceae	Br	S

Tipo de bosque: Br = bosque ribereño, Bes = bosque estacional semideciduo. Sucesión ecológica: P = pioneras, S = secundaria, C = climax

## Literatura citada

- Barbosa, LM. 1999. Implantação de mata ciliar. Simpósio de mata ciliar. Belo Horizonte, BR. Ciência e Tecnologia. p. 111-135.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, BR. 412 p.
- França, GVA. 1968. Classificação das terras de acordo com sua capacidade de uso como base para um programa de conservação de solos. In Congresso Nacional de Conservação de Solos, 1, Campinas, BR. p. 399 - 408.
- Horton, RE. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America (Col.) 56(3):275-370.
- Jiménez, F. 2004. El manejo integrado de cuencas hidrográficas como enfoque para la gestión de los recursos naturales y el ambiente. Recursos Naturales y Ambiente no. 43: 4.
- Lima, WP. 1986. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba, BR, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 241 p.
- \_\_\_\_\_. 1999. A microcuenca e o desenvolvimento sustentável. Ação Ambiental no. 3:20-22.
- Rodrigues, VA. 2004. Morfometria e mata ciliar da microcuenca hidrográfica. In Anais, 8º Workshop em Manejo de Bacias Hidrográficas., Botucatu, BR, UNESP. p. 7-18.
- Smith, KG. 1950. Standards for grading texture of erosional topography. American Journal Science 248:655-668.
- Strahler, AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union 38: 913-920.