

# Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

No. 51 - 52 Agosto - Diciembre 2007



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  
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  
Rocio Jiménez, Diseño y diagramación  
Guiselle Brenes, Internet

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

Impreso en papel reciclable 

Litografía e Imprenta LIL, S.A.

**CATIE**  
Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

# Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

No. 51 - 52

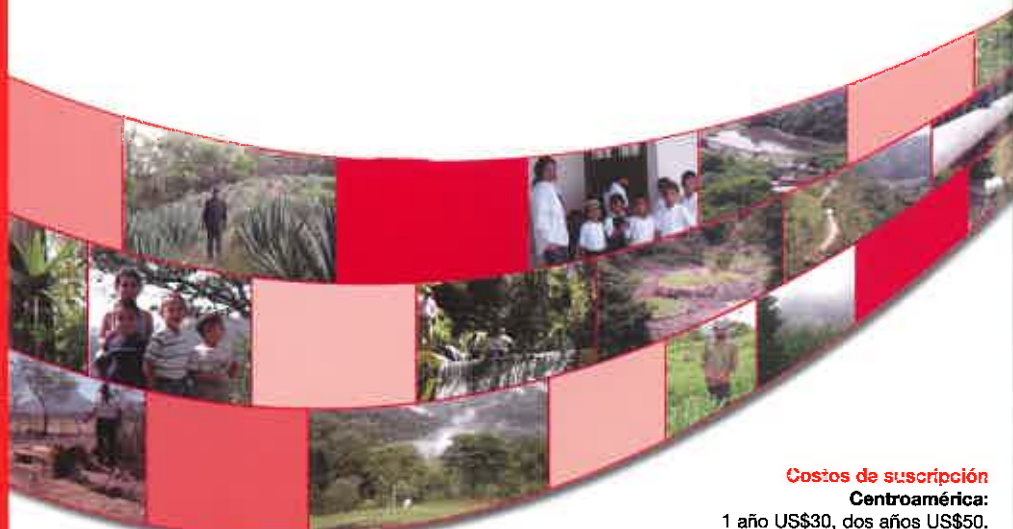
El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros regulares son: el Instituto Interamericano de Cooperación para 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 trimestral, 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.

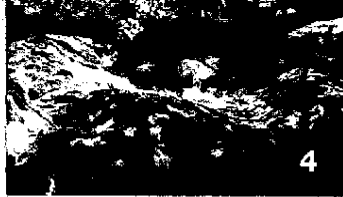


#### Costos de suscripción

**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, Cartago, 30501, Costa Rica  
Tel. (506) 2558-2312 Fax (506) 2558-2051 Correo: rforesta@catie.ac.cr

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



4



12



135



184

**FORO**

Importancia de los bosques tropicales en las políticas de adaptación al cambio climático  
*Carlos J. Pérez; Bruno Locatelli; Raffaele Vignola; Pablo Imbach*..... 4

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

Potencial del mecanismo de desarrollo limpio en las plantaciones forestales de Panamá  
*Raquel Argüello; Bruno Locatelli; Guillermo Navarro; Mario Piedra; Zenia Salinas*..... 12

Diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la zona atlántica de Costa Rica. *Mario Chacón L.; Celia A. Harvey; Diego Delgado* ..... 19

Identificación de bosques y sistemas agroforestales proveedores de servicios ecosistémicos para el sector agua potable en Nicaragua. *Cliserio González H.; Bruno Locatelli; Pablo Imbach; Raffaele Vignola; Carlos J. Pérez; Philippe Vaast*..... 33

Servicios ecosistémicos e hidroelectricidad en Nicaragua. *Efraín José Leguía Hidalgo; Bruno Locatelli; Pablo Imbach; Francisco Alpizar; Raffaele Vignola; Carlos Pérez* ..... 40

Tipos de bosques en el sector sur del Corredor Biológico del Atlántico, Nicaragua  
*Dalia Sánchez Merlos; Bryan Finegan; Celia A. Harvey; Diego Delgado* ..... 48

Identificación y caracterización florística de bosques naturales en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica  
*Eduardo Murrieta; Bryan Finegan; Diego Delgado; Róger Villalobos; José Joaquín Campos*..... 57

Propuesta para una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica  
*Eduardo Murrieta; Bryan Finegan; Diego Delgado; Róger Villalobos; José Joaquín Campos*..... 69

Dinámica y factores determinantes de los cambios de la cobertura forestal en el área colindante al Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica  
*Antonio Arana; José Joaquín Campos; Sergio Velásquez; Róger Villalobos; André Días*..... 77

Zonificación de la cobertura forestal a escala de paisaje en el cantón Hojancha, Costa Rica  
*Manuel Enrique Serrano Dávila; José Joaquín Campos; Róger Villalobos; Glenn Galloway; Bernal Herrera*..... 85

Guía de Monitoreo Ecológico: validación de procedimientos metodológicos y enfoques propuestos para un bosque de coníferas manejado en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala  
*Lorena Estrada Chinchilla; Bryan Finegan; Diego Delgado*..... 96

Evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas de América Central. Parte 1. Propuesta metodológica  
*Laura Benegas; Francisco Jiménez; Bruno Locatelli; Jorge Faustino; Max Campos*..... 107

Evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas de América Central. Parte 2. Estudio de caso en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. *Laura Benegas; Francisco Jiménez; Bruno Locatelli; Jorge Faustino; Max Campos* ..... 117

Elementos claves para el manejo y gestión del agua en el municipio de Valle de Ángeles, Honduras  
*Oscar Angulo A.; Cornelis Prins; Jorge Faustino; Róger Madrigal*..... 124

Creación de institucionalidad para el manejo de la subcuenca del río Copán, Honduras  
Análisis de procesos recientes  
*Francisco Baldizón Reyes; Jorge Faustino; Francisco Jiménez* ..... 135

Valoración económica de los beneficios de protección del recurso hídrico bajo un esquema de pago por servicios ecosistémicos en Copán Ruinas, Honduras  
*Jackeline Cisneros; Francisco Alpizar; Róger Madrigal*..... 143

La coordinación institucional y el manejo de los recursos naturales bajo el enfoque de cogestión adaptativa de cuencas en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua  
*René Pérez Carrasco; Jorge Faustino; Francisco Jiménez; Cornelis Prins*..... 153

Evaluación participativa de forrajes promisorios para zonas secas y su posible impacto en los recursos naturales de la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua  
*Arlen Payán; Francisco Jiménez; Muhammad Ibrahim; Fernando Casanoves*..... 161

Crecimiento de forrajes mejorados con potencial para sistemas de producción agropecuaria en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua  
*Arlen Payán; Francisco Jiménez; Muhammad Ibrahim; Fernando Casanoves*..... 167

Capacidad potencial de las franjas ribereñas del río Bermúdez para reducir la erosión  
*Gaetan Buzolich; Marine Donal; Jenny Reynolds Vargas; Laura Torres Corral* ..... 175

**EXPERIENCIAS**

¿Cómo seleccionar una definición de bosque para el mecanismo de desarrollo limpio?  
*Celia Martínez-Alonso; Pablo Imbach; Bruno Locatelli*..... 184

Evaluación de un proyecto de desarrollo rural sostenible mediante indicadores de logros. Aldea Ecológica San José de Limones, Estado Mérida, Venezuela  
*Yolanda Molina, Edgar Hernández* ..... 191

# Importancia de los bosques tropicales en las políticas de adaptación al cambio climático

**Carlos J. Pérez<sup>1</sup>; Bruno Locatelli<sup>2</sup>;  
Raffaele Vignola<sup>3</sup>; Pablo Imbach<sup>4</sup>**

Los bosques tropicales son importantes para el desarrollo sostenible por los bienes y servicios ecosistémicos que producen para la sociedad. A pesar de la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales al cambio climático, pocos planes de adaptación toman en cuenta los bosques, o los consideran de manera desconectada del resto de la sociedad. En vista de que sectores socioeconómicos importantes dependen de los servicios ecosistémicos de los bosques, ellos deben participar en la toma de decisiones sobre políticas y estrategias que inciden sobre la adaptación de los bosques.

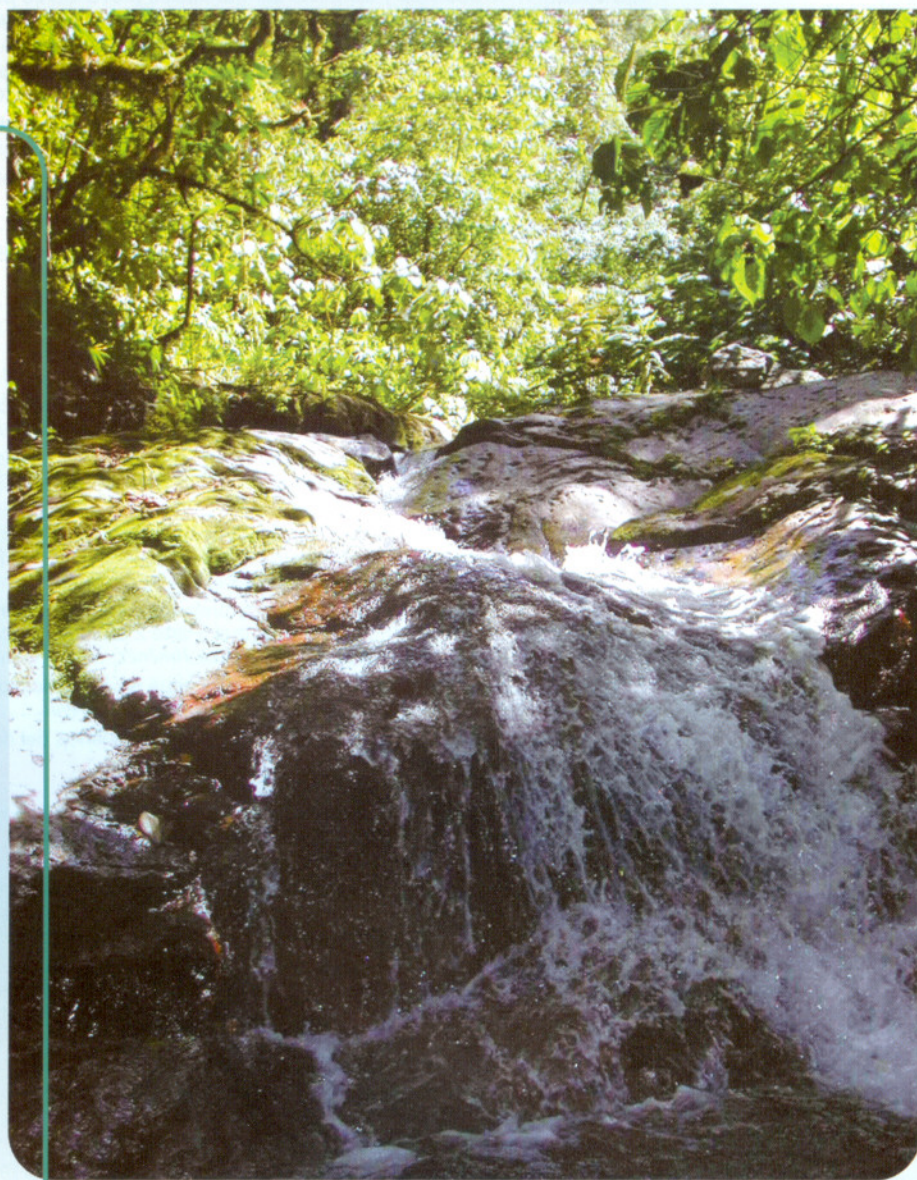


Foto: Red Iberoamericana de Bosques Modelo.

<sup>1</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica

<sup>2</sup> CIRAD UPR Forest Resources, Montpellier, France. bruno.locatelli@cirad.fr; Grupo Cambio Global, CATIE

<sup>3</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. rvignola@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. pimbach@catie.ac.cr

## Introducción

Los bosques tropicales son cada vez más un recurso crítico para el desarrollo sostenible de los países tropicales por la creciente presión ejercida por la sociedad y la contribución de los servicios ecosistémicos del bosque a la sostenibilidad de varios sectores socioeconómicos. Aunque la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, a través del Protocolo de Kyoto, establece la importancia de los bosques para la mitigación del cambio climático por su rol como sumideros de carbono (Karousakis 2007), el calentamiento global constituye también una fuente más de presión sobre los bosques tropicales, lo cual podría contribuir a intensificar los conflictos entre sectores por el acceso a los bienes y servicios ecosistémicos del bosque.

Muchos estudios científicos han resaltado la vulnerabilidad de los bosques tropicales a los efectos adversos del cambio y de la variabilidad climática (IPCC 2002, CBD 2003). Hasta ahora, la relevancia de los bienes y servicios que los bosques proveen a la sociedad no ha sido expresamente incluida en una política orientada a la adaptación al cambio climático. Sin embargo, los impactos de tal cambio sobre los bosques aumentarán la vulnerabilidad de grandes segmentos de la sociedad que dependen de los servicios ecosistémicos para su bienestar. Por lo tanto, los bosques deberían tener un lugar en las políticas que buscan aumentar la resiliencia de los sectores socioeconómicos (su capacidad adaptativa) que dependen de los bosques tropicales. Para ello, se debe garantizar la participación de esos sectores en el manejo adaptativo de los bosques tropicales para asegurar su capacidad de seguir proviendo bienes y servicios en un contexto de cambio climático. En este artículo se brindan algunas pautas para integrar los bosques tropicales a las estrategias

de adaptación al cambio climático, con énfasis en la región centroamericana. Primero, se aborda la vulnerabilidad propia de los ecosistemas forestales al cambio climático a través de conceptos y ejemplos de vulnerabilidad. Segundo, se muestra la importancia estratégica de los servicios ecosistémicos provistos por los bosques tropicales y su relación con el desarrollo socioeconómico, especialmente en el caso de los servicios hidrológicos. Tercero, se describe una estrategia para integrarlos en la agenda de adaptación al cambio climático, brindando algunos ejemplos de manejo adaptativo.

### Vulnerabilidad de los bosques al cambio climático

La vulnerabilidad se define como el grado de susceptibilidad y la incapacidad de un sistema para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. La vulnerabilidad de un sistema se deriva de su alta sensibilidad o de su baja capacidad de adaptación (IPCC 2001). La capacidad de adaptación puede resultar de una respuesta autónoma del sistema -por ejemplo, un cambio en la fenología del bosque-, o de actividades planeadas de adaptación -por ejemplo, el manejo forestal que busca modificar la composición florística del ecosistema. Hay mucha incertidumbre sobre la respuesta autónoma de un ecosistema, ya que esta depende de la interacción compleja entre sus elementos constituyentes. Por ello, muchos trabajos científicos se limitan a evaluar la sensibilidad del bosque. Se espera que el cambio climático afecte el funcionamiento, la estructura y la distribución de los ecosistemas, sus especies constituyentes y los recursos genéticos (Noss 2001, Robledo y Forner 2005). De hecho, ya se empiezan a observar cambios en las poblaciones, en sus rangos de distribución, y en la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas debidos a cambios en el clima (McCarty 2001).

Por un lado, los cambios de temperatura y precipitación (promedios anuales y distribución durante el año) y de frecuencia e intensidad de eventos extremos pueden influir directamente sobre el funcionamiento del ecosistema. Por ejemplo, modificaciones en el crecimiento de los árboles, la supervivencia de los organismos (especialmente los que se encuentran en los límites de los ecosistemas o de los nichos ecológicos), los periodos de floración y fructificación de las plantas y la destrucción de organismos por vientos, inundaciones o descargas eléctricas (rayos). Por otro lado, el cambio y la variabilidad climática pueden influir indirectamente sobre los bosques tropicales. Por ejemplo, una reducción en los niveles de precipitación puede incrementar la probabilidad de incendios forestales, sobre todo en los bosques tropicales secos. La frecuencia e intensidad de los incendios depende de la condición hidrológica del bosque así como de la disponibilidad de materia seca, factores que a su vez dependen de las condiciones climáticas (Nepstad et ál. 2004, Running 2006) y del manejo que la sociedad haga de ellos. El cambio climático podría crear condiciones favorables para el desarrollo de plagas o de especies invasoras perjudiciales a un bosque (Kirilenko et ál. 2000).

Algunos componentes del ecosistema pueden ser sensibles al cambio climático de manera indirecta. Por ejemplo, los cambios en los periodos de fructificación de algunas plantas pueden traer consecuencias dramáticas para los animales que dependen de la disponibilidad estacional de frutos (un ejemplo es el de los monos en la península de Osa en Costa Rica), pero sin consecuencias para las mismas plantas (Bazzaz 1998).

Una tipología propuesta por Dudley (1998) considera cinco tipos de impactos posibles del cambio climático sobre los bosques tropicales.

1) Las perturbaciones por eventos extremos, como las tormentas, y por cambios graduales en los patrones de lluvias o temperaturas pueden tener impactos sobre el funcionamiento, la composición y la estructura del bosque (Condit 1998). 2) La simplificación del bosque resulta en una pérdida de la biodiversidad debido a la ventaja comparativa que adquieren las especies de crecimiento rápido, invasoras o de ciclo de vida corto, como las hierbas. 3) La migración de los bosques hacia los polos o hacia mayores alturas; sin embargo, los movimientos reales dependerán de la capacidad de dispersión de las especies y de las barreras a la migración (Pearson 2006). 4) Las perturbaciones pueden causar una reducción de la edad del bosque y el remplazo de bosques maduros por bosques jóvenes, lo que tendría implicaciones importantes sobre la biodiversidad, ya que muchas especies se encuentran solamente en los bosques adultos. 5) La desaparición de algunos bosques tropicales o especies podría ocurrir a causa del cambio climático. En el bosque nuboso tropical de altura en Monteverde (Costa Rica), la elevación de las nubes ya ha causado la desaparición de varias especies de ranas (Pounds et ál. 1999).

Para evaluar la vulnerabilidad de los bosques tropicales al cambio climático es necesario conocer los mecanismos de adaptación autónoma. Los componentes del ecosistema se pueden adaptar a ciertos cambios; por ejemplo, las plantas de un ecosistema pueden usar el agua de manera más eficiente en un contexto de sequía (Borchert 1998). Asimismo, la resiliencia del ecosistema, que le permite recuperarse después de una perturbación, resulta generalmente de la interacción entre distintos elementos del sistema (Benzing 1998). La diversidad de los bosques tropicales facilita su adaptación porque se considera que, generalmente, los ecosistemas más diversos son más

resilientes (Loreau et ál. 2003). Esta diversidad de especies puede aumentar la redundancia; es decir, el número de especies presentes en cada grupo funcional, tal como el grupo de polinizadores o el de dispersores de semillas. La identificación de las especies claves y los grupos funcionales puede ayudar a entender la vulnerabilidad del bosque al cambio climático (Noss 2001).

Los servicios ecosistémicos afectados que probablemente tendrán más impacto sobre la sociedad son los hidrológicos, por la importancia del agua para la sociedad y la biodiversidad. En muchos países, tales servicios son los que más vinculan a la sociedad con los bosques tropicales. Los compromisos de acción sobre el agua se fundamentan en la creciente presión sobre el recurso y los problemas enfrentados por distintos sectores de la sociedad por la escasez del recurso, exceso y calidad.

La capacidad de adaptación autónoma del bosque depende mucho de su estado y de las otras presiones no climáticas. Por ejemplo, la degradación o la fragmentación de un bosque por presiones humanas reducen su resiliencia al cambio climático, como en el caso de los bosques altamente fragmentados en zonas urbanas o agrícolas y los parches de bosques aislados. La fragmentación de los bosques amazónicos aumenta la entrada de los frentes secos dentro del bosque denso y, en consecuencia, la vulnerabilidad al fuego (Fearnside 1995).

### Consecuencias del cambio climático para los servicios ecosistémicos

Todos los impactos antes mencionados podrían modificar la provisión de servicios ecosistémicos por parte de los bosques. El Millenium Ecosystem Assessment (MEA 2005) subraya que los servicios ecosistémicos son aquellos beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas incluyendo la provisión de bienes (alimentos, leña, fibras, fármacoquímicos, recursos genéticos, otros productos no maderables), la regulación (del clima, de enfermedades, del ciclo hidrológico, de la erosión), los servicios culturales (espirituales, religiosos, recreativos, ecoturísticos, estéticos, educacionales, históricos) y los servicios de soporte (formación de suelo, ciclo de nutrientes, producción primaria). A cada servicio ecosistémico corresponde una serie de beneficios sociales que abarca distintos aspectos del bienestar humano (MEA 2005); por ejemplo, la seguridad (i.e. garantizarse el acceso a los recursos), las condiciones materiales para una vida digna (i.e. acceso a bienes, alimentos y subsistencia), la salud (i.e. estado físico, acceso al aire y al agua limpia) y las buenas relaciones sociales (cohesión social, capacidad de ayudar a los demás y respeto mutuo).

De los servicios ecosistémicos perturbados por el cambio climático, el más estudiado a escala global ha sido el secuestro de carbono (Bazzaz 1998), ya que los impactos del cambio climático sobre los bosques podrían causar mayores emisiones de carbono hacia la atmósfera, contribuyendo aún más al calentamiento global. Sin embargo, todos los servicios ecosistémicos pueden ser alterados por el cambio climático. Los servicios ecosistémicos vinculados a la biodiversidad (servicios estéticos, culturales, de provisión de bienes -como plantas farmacéuticas o recursos genéticos) serán directamente afectados por el cambio climático.

Los servicios ecosistémicos afectados que probablemente tendrán más impacto sobre la sociedad son los hidrológicos, por la importancia del agua para la sociedad y la biodiversidad. En muchos países, tales servicios son los que más vinculan a la sociedad con los bosques tropicales. Los compromisos de acción sobre el agua se fundamentan en la creciente presión sobre el recurso y los problemas enfrentados por distintos sectores de la sociedad por la escasez del recurso (sectores doméstico, agrícola, industrial y energía), exceso (toda la sociedad puede ser afectada en el caso de las inundaciones) y calidad (sector doméstico, agroindustrial y energía, entre otros).

En Centroamérica, mediante la Declaración de San José (Costa Rica), los países han subrayado la necesidad de avanzar en el desarrollo de políticas, normativas y cooperación en la evaluación y gestión de los recursos hídricos (Organización Mundial de Meteorología 1996). Asimismo, en el contexto internacional, las Metas de Desarrollo del Milenio (United Nations 2000) incentivan a tomar acción para alcanzar importantes objetivos de desarrollo, como la meta de reducir a la mitad la población sin acceso sostenible a agua potable segura y saneamiento básico en el 2015.

### **Servicios hidrológicos de los ecosistemas forestales y cambio climático**

Aunque se ha avanzado en el conocimiento científico sobre la función de la cobertura forestal en la regulación del ciclo hidrológico, todavía hacen falta más esfuerzos para resolver algunas dudas al respecto (Andreassian 2004, Kaimowitz 2004, Bruijnzeel 2004). La estructura, la ubicación y el área del ecosistema forestal en una cuenca influyen sobre la escorrentía, la evapotranspiración y la infiltración y, por ende, en el balance hídrico y la calidad del recurso (Bruijnzeel 2004). Aunque se pueden identificar

distintos resultados sobre el impacto hidrológico del bosque, la función de regulación de la cantidad y calidad del agua ha sido subrayada por distintas publicaciones científicas (MEA 2005). En un contexto de cambio y de más variabilidad climática se puede alterar la distribución e intensidad de los fenómenos naturales con consecuencias sobre la cantidad y la calidad del recurso hídrico (Okí y Kanae 2006). En este contexto, los servicios hidrológicos de los bosques tropicales pueden adquirir aún más importancia en el control de la vulnerabilidad de la sociedad.

Si embargo, los servicios ecosistémicos hidrológicos podrían ser afectados por los cambios en las funciones hidrológicas de los bosques, tales como la interceptación de lluvias o la infiltración. Por ejemplo, el incremento de los incendios asociados con el aumento de las condiciones secas (como se espera que ocurra en América Central) puede reducir la materia orgánica en el estrato superficial del suelo. Esto causaría menor infiltración y mayor escorrentía a nivel del bosque, y caudales mínimos más bajos o máximos más altos a nivel de la cuenca (Townsend y Douglas 2004). Si los bosques nublados migran hacia los picos de las montañas, las partes más bajas tendrán menor interceptación horizontal de la precipitación y menor recarga acuífera (Still et ál. 1999). Los cambios en los bosques tropicales impactarán también el servicio ecosistémico de regulación de la calidad del agua, especialmente en lo que concierne a la concentración de elementos químicos o biológicos y el transporte de partículas sólidas (erosión).

### **Los bosques tropicales en las políticas de adaptación al cambio climático**

En muchos países en desarrollo, a pesar de lo ya expuesto, los bosques tropicales no son prioritarios en las agendas nacionales de desarrollo

y, por lo tanto, no reciben mucha atención en los planes de adaptación. En América Latina, incluyendo América Central, la mirada está puesta sobre los tratados de libre comercio, la generación de energía renovable para reducir la dependencia de combustibles fósiles y la reducción de la pobreza (Adger et ál. 2003). Preocuparse por los bosques tropicales para la adaptación al cambio climático requiere de una proyección a largo plazo, y esto es posible solamente si se logran reducir las amenazas a corto plazo.

En las comunicaciones nacionales de varios países centroamericanos a la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático (disponibles en <http://unfccc.int>), se trata el tema de la vulnerabilidad de los bosques tropicales, pero generalmente sin consecuencias sobre la implementación de políticas. Por ejemplo, la primera comunicación del Gobierno de Costa Rica (2005) menciona la importancia de identificar las áreas forestales con alto potencial hídrico para determinar cómo podrían verse afectadas por el cambio climático. En la primera comunicación de Nicaragua se reporta un enfoque bioclimático para modelar los efectos del cambio climático sobre los bosques tropicales (Mendoza et ál. 2001). Para identificar las zonas boscosas más vulnerables, se han usado mapas de distribución futura de las zonas de vida (utilizando la clasificación de Holdridge), comparándolas con la distribución actual. Varias comunicaciones nacionales señalan la importancia de afinar el desarrollo de modelos biogeográficos; para ello se han utilizado escenarios climáticos a escala regional o se ha considerado el efecto de ciertos parámetros climáticos, como la duración de la época seca. También recomiendan que se evalúe el impacto del cambio climático sobre las especies, afinando los rangos de distribución de las especies más importantes.

Sin embargo, en las comunicaciones nacionales no se aborda el tema del contexto político o de los mecanismos económicos que podrían ayudar a la adaptación. Tampoco se menciona la necesidad de vincular la adaptación de los bosques con los usuarios de los servicios ecosistémicos. Por lo tanto, se requiere de un enfoque innovador para incluir los bosques tropicales en la adaptación al cambio climático. Para lograr que los bosques y la adaptación al cambio climático sean un interés prioritario de la sociedad, uno de los retos será vincularlos con otros sectores socioeconómicos y demostrar el grado de interdependencia. Por ejemplo, la promoción de mayores fuentes de generación de energía hidroeléctrica depende de los servicios ecosistémicos de los ecosistemas forestales. Esto significa que, para aprovechar el potencial de los países centroamericanos (Naciones Unidas 2004), una política de generación hidroeléctrica debería incorporar el manejo adaptativo de los bosques tropicales prioritarios ubicados aguas arriba de las centrales hidroeléctricas.

Tal como se dijo anteriormente, una de las metas de los Objetivos de Desarrollo del Milenio es reducir a la mitad la proporción de la población sin acceso a agua potable de calidad y a saneamiento básico (United Nations 2005). El agua para la población, en muchas comunidades rurales y urbanas, proviene de cuencas cubiertas por bosques tropicales; por lo tanto, es necesario incluir estos ecosistemas en las políticas nacionales y planes de adaptación del sector agua potable. Esta integración puede resultar más barata y más sostenible que algunas alternativas tecnológicas como el bombeo de agua subterránea (Brüschweiler et ál. 2004).

Fuera del tema forestal, la problemática del cambio climático y su traducción en políticas de adaptación han tenido el efecto interesante de reunir sectores socioeconómicos

diferentes frente a un mismo problema y de abordarlo con una visión de largo plazo. En este contexto se presenta una oportunidad para que la protección y el manejo adaptativo de los bosques salga de la arena de los expertos, propietarios, o administradores forestales para entrar en la arena social.

### Una propuesta de enfoque

El proyecto “Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático” (Trofcca) propone un enfoque para incluir los bosques tropicales en los planes de adaptación al cambio climático. El enfoque enfatiza, como punto de partida, las necesidades de la sociedad o los sectores socioeconómicos que dependen de los servicios ecosistémicos que proveen los bosques (Fig. 1). Luego, relaciona el impacto del cambio climático sobre las funciones ecosistémicas de estos bosques, y considera los mecanismos financieros que pueden hacer posible el manejo adaptativo de los ecosistemas de interés para la sociedad.

La implementación del esquema inicia con la identificación de los sectores socioeconómicos prioritarios para el desarrollo del país o para las políticas de adaptación que tengan una dependencia de los servicios ecosistémicos de los bosques (marco *a* en la Fig. 1). Se define un sector socioeconómico como un conjunto de individuos y organizaciones, públicos o privados, que comparten un mismo interés de desarrollo. Por ejemplo, el sector “agua potable” reúne a los usuarios del agua potable, las empresas que captan, tratan, transportan y venden agua potable así como las agencias públicas encargadas del recurso. En Centroamérica, el Proyecto Trofcca ha seleccionado, en concertación con actores nacionales, los sectores agua potable y energía hidroeléctrica por su importancia estratégica para el desarrollo de los países, su vulnerabilidad al cambio climático y dependencia de los servicios ecosistémicos de los bosques. Sin

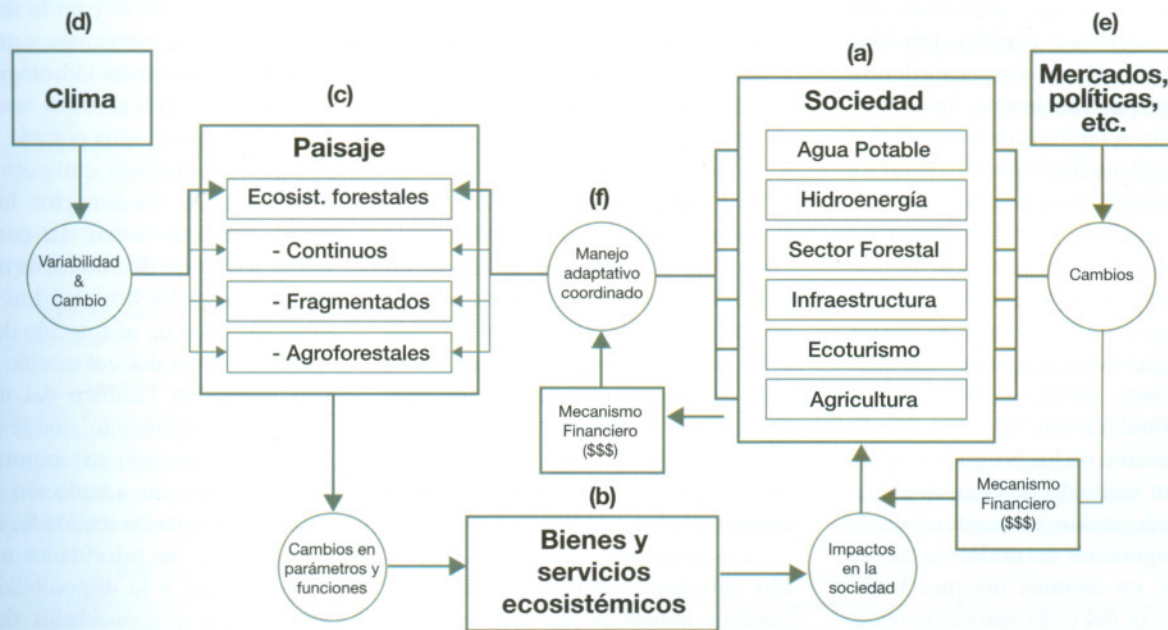
embargo, hay otros sectores, como el ecoturístico, que también depende de los servicios ecosistémicos de los bosques y ameritaría una intervención similar.

A continuación se determinan los servicios ecosistémicos más importantes para los sectores socioeconómicos priorizados (marco *b* en la Fig. 1); por ejemplo, la conservación de caudal mínimo o la belleza escénica. Luego se define cuáles ecosistemas proveen servicios ecosistémicos a los sectores priorizados (marco *c*). Esta determinación considera la ubicación de los usuarios de los servicios ecosistémicos, su importancia (tamaño de la población, por ejemplo, en el caso del agua potable), el uso de los distintos servicios ecosistémicos y la magnitud de la provisión de servicios por distintos ecosistemas.

Con distintas herramientas, se analiza el impacto del cambio climático sobre los bosques priorizados. El trabajo puede considerar varios tipos de modelos, según los servicios ecosistémicos seleccionados. Por ejemplo, para el caso del ecoturismo, el modelo puede enfocarse en una especie endémica y simbólica. Para los servicios hidrológicos, se debe trabajar con modelos o tipologías de ecosistemas que permitan proyectar los impactos del cambio climático sobre las funciones relevantes (infiltración, escorrentía, evapotranspiración). Una vez desarrollados y validados los modelos, se utilizan escenarios climáticos para simular los impactos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos (marco *d*).

En las áreas donde las interacciones entre bosques y sectores socioeconómicos son más intensas o en donde los impactos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos son más fuertes, se puede empezar un trabajo de diseño de políticas con los actores locales o nacionales. Para ello, se deben presentar resultados que demuestran las consecuencias económicas de los cambios en la pro-





**Figura 1.** Interacción entre la sociedad, representada por distintos sectores socioeconómicos, y el ecosistema forestal a través de sus funciones y servicios

visión de servicios ecosistémicos causados por el cambio climático. Por ejemplo, se puede tratar de mostrar que el cambio climático (marco *d*) impactará los bosques (marco *c*), lo que causará aumentos en la erosión (marco *b*) en una cuenca donde un embalse es vulnerable a problemas de sedimentación. El sector hidroeléctrico enfrentará costos altos por limpieza del embalse o por reducción de la vida útil de la planta, o por la compra de energía para compensar la pérdida (marco *a*).

Mediante un proceso participativo, se define el interés de los sectores por reducir la vulnerabilidad de los bosques al cambio climático, dentro de un contexto de mercado y políticas que influyen tanto sobre la vulnerabilidad de los sectores como sobre las otras amenazas para el bosque (marco *e*). Actores privados (una empresa hidroeléctrica, por ejemplo) y públicos (el ministerio de energía) participan en el proceso que debe resultar en políticas nacionales o locales. En concertación con los actores del manejo de los bos-

ques, se deben definir medidas de manejo para la adaptación (marco *f*). Las estrategias y planes de adaptación de los bosques al cambio climático deben incluir los medios financieros y los mecanismos para financiar esos planes (IISD 2004). Entre ellos se encuentran los pagos por servicios ecosistémicos, mediante los cuales los usuarios retribuyen a los propietarios de los bosques que proveen estos servicios.

### Opciones de adaptación de los bosques

El manejo adaptativo de los bosques tiene como finalidad optimizar los bienes y servicios ecosistémicos que estos brindan a la sociedad. Esto equivale a implementar una serie de prácticas y medidas técnicas que permiten aumentar la adaptación planeada de los bosques. Aunque los bosques se pueden adaptar de manera autónoma a ciertos cambios, es importante ser proactivo en este proceso (Spittlehouse y Stewart 2003). Muchas de las medidas de adaptación se parecen a las medidas de

conservación de los bosques y buscan reducir las amenazas no climáticas que causan conversión, fragmentación o degradación (Biringer 2004). Se debe manejar el paisaje a una escala coherente con la problemática de los bosques y el cambio climático. Por ejemplo, se puede diseñar redes de áreas protegidas coherentes o considerar la adaptación de especies en el manejo del suelo fuera de las áreas protegidas. A nivel del paisaje, la adaptación tendrá como objetivo evitar la fragmentación, fomentar la conectividad de bosques tropicales y desarrollar zonas de amortiguamiento en las cuales se promueve una cierta flexibilidad en el uso del suelo para adaptarse a condiciones cambiantes (Spittlehouse 2005, Biringer 2003, Noss 2001).

La adaptación busca mantener una diversidad de bosques tropicales representativos en los gradientes ambientales, ya que la protección de diferentes tipos de bosques tropicales permite aumentar la probabilidad de que un tipo esté adaptado a las condiciones climáticas futuras. Se

deberá también proteger los bosques maduros, dado que presentan una cierta resiliencia al cambio climático, y las especies claves o especies dentro de los grupos funcionales importantes. Algunos hábitats deberán recibir una consideración especial, como los que han resistido a la migración latitudinal durante cambios climáticos pasados. Estos hábitats son importantes porque albergan especies de climas pasados. En América Central, los bosques ribereños, especialmente de la costa caribeña (Noss 2001), corresponden a este tipo de hábitats. La protección de los bosques tropicales en un contexto de cambio climático puede incluir el mantenimiento de los regímenes naturales de fuegos que son, en algunos bosques tropicales, parte del ciclo natural y evitan daños mayores por la acumulación de biomasa.

Otras medidas de adaptación incluyen el manejo proactivo de las plagas, mediante quemas dirigidas o el uso de plaguicidas, o la implementación de técnicas silviculturales para sostener la productividad forestal mediante técnicas que mantienen una diversidad de especies y de edades. Se puede también mantener la diversidad genética y promover la salud del ecosistema mediante la restauración usando semillas de plantas de altitudes o latitudes más bajas o de especies más resistentes. La adaptación de los bosques puede también considerar la migración asistida mediante la introducción de especies en nuevas áreas y la protección de especies altamente amenazadas *ex-situ* en colecciones, jardines botánicos o zoológicos para evitar su extinción (Noss 2001).

Las políticas de manejo y conservación de los recursos naturales deberían contribuir al manejo adaptativo de los bosques tropicales y fomentar la participación de los usuarios de los servicios ecosistémicos en la conservación y el manejo del bosque. Las opciones de políticas deben considerar la interacción

a nivel nacional y local, ya que este último es el nivel óptimo para la adaptación al cambio climático (Naess et ál. 2005). Entre estas políticas, se pueden citar los mecanismos de pagos por servicios ecosistémicos a escala nacional (Chomitz et ál. 1999, Gobierno de Costa Rica 2005) y municipal o local (PASOLAC 2006). El fortalecimiento de capacidades humanas e institucionales, las relaciones interinstitucionales basadas en el aprendizaje continuo, la creación y mantenimiento de programas para brindar información al público aumentarán la efectividad de los esfuerzos de adaptación al cambio climático (IUCN 2003).

Los impactos esperados del cambio climático sobre los bosques se pueden clasificar en dos grandes categorías: discretos -los asociados a perturbaciones extremas como sequías, incendios, plagas, etc. - y graduales, con cambios a más largo plazo. Aunque ambos están relacionados desde el punto de vista biofísico, es importante distinguirlos porque el tipo de respuestas que la sociedad podría dar en planes de adaptación consideraría los plazos temporales para observar los efectos de las respuestas por parte de los tomadores de decisiones.

### Conclusión

Al igual que otros sistemas, los ecosistemas forestales, particularmente los bosques tropicales, son vulnerables al cambio climático. Esto significa que los bienes y servicios que producen estos ecosistemas, y que son importantes para la sociedad, también pueden ser afectados. La implicación es que la adaptación de la sociedad, de un segmento de esta, o de un sector socioeconómico que depende de los bienes y servicios ecosistémicos de los bosques, debe de considerar la vulnerabilidad intrínseca de los bosques al cambio y variabilidad climática.

En América Central, las proyecciones de cambio y variabilidad

climática indican que habrá variación en las temperaturas y en la distribución de las precipitaciones, y que esto afectará los servicios hidrológicos de los bosques. Los sectores socioeconómicos como el agua potable, hidroeléctrico, ecoturismo, entre otros, que dependen de los servicios hidrológicos, deberán tomar en cuenta y participar en las decisiones de manejo adaptativo de los bosques. Las opciones y medidas de adaptación de estos sectores vulnerables al cambio climático dependen también del manejo adaptativo o planeado, que se realice sobre los ecosistemas importantes. Las opciones de adaptación deben tomar en cuenta las realidades locales en cuanto a las prioridades sociales y económicas y la disponibilidad de información y capacidades de análisis. Lo más importante es que la sociedad y los sectores socioeconómicos integren en sus políticas y estrategias, la adaptación al cambio climático y el rol que juegan los ecosistemas forestales. En algunos casos, se debe operar con un alto margen de incertidumbre sobre la respuesta del sistema a las opciones adoptadas. Sobre todo en esos casos, es necesario vincular a todos los sectores afectados y basarse en el concepto de diseminación de información, estudios y análisis para crear consenso y co-responsabilidad en la ejecución de las estrategias de adaptación.

### Agradecimientos

Este documento ha sido elaborado en el marco del Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático -Trofcca-, ejecutado por CATIE en América Central, a través del convenio suscrito entre CATIE y CIFOR en Septiembre del 2005. Trofcca recibe el apoyo financiero de la Comisión Europea mediante contrato No. EuropeAid/ENV/2004-81719. Las ideas y opiniones expresadas en este documento no reflejan la posición de la Unión Europea, estas son responsabilidad de los autores.

## Literatura citada

- Adger WN; Huq, S; Brown, K; Conway, D; Hulme, M. 2003. Adaptation to climate change in the developing world. *Prog. Dev. Studies* 3(3):179-195.
- Andreassian, V. 2004. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology* 291 (2004):1-27.
- Bazzaz, F. 1998. Tropical Forests in a Future Climate: Changes in Biological Diversity and Impact on the Global Carbon Cycle. *Climatic Change* 39(2-3):317-336.
- Benzing, DH. 1998. Vulnerabilities of tropical forests to climate change: the significance of resident epiphytes. *Climatic Change* 39:519-540.
- Biringer, JL. 2003. Forest ecosystems threatened by climate change: promoting long-term forest resilience. In Hansen, LJ; Biringer, JL; Hoffman, JR. (eds). *Buying time – a user's manual for building resistance and resilience to climate change in natural systems*. WWF, Gland, Switzerland. p. 43-72.
- Borchert R. 1998. Responses of tropical trees to rainfall seasonality and its longterm changes. *Climatic Change* 39:381-393.
- Bruijnzeel, LA. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?. *Agriculture, Ecosystems and the Environment*. No.104.185-228.
- Brüschweiler, S; Höggel, U; Kläy, A. 2004. Los bosques y el agua: interrelaciones y su manejo. *Informes de Desarrollo y Medio Ambiente* No. 19. Centre for Development and Environmet, Universidad de Berna, Suiza. 48 p.
- CBD (Convention on Biological Diversity). 2003. Interlinkages between biological diversity and climate change: advice on the integration of biodiversity considerations into the implementation of the United Nations framework convention on climate change and its Kyoto Protocol. Montreal, CA. (Technical Series no. 10).
- Chomitz, KM; Brenes, E; Constantino, L. 1999. Financing environmental services: the Costa Rican experience and its implications. *The Science of the Total Environment* 240:157-169.
- Condit R. 1998. Ecological implications of changes in drought patterns: shifts in forest composition in Panama. *Climatic Change* 39:413-427.
- Dudley, N. 1998. Forests and climate change. A report for WWF Internacional, Forest Innovations, IUCN, GTZ, WWF. Gland, Switzerland. 19 p.
- Fearnside, PM. 1995. Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 78 (199.5):51-70.
- Gobierno de Costa Rica. 2005. El Canon de Agua en Costa Rica. Decreto Ejecutivo No. DAJ-072-2005. San José, CR.
- IISD. 2004. Livelihoods and Climate Change: combining disaster risk reduction, natural resource management and climate change adaptation in a new approach to the reduction of vulnerability and poverty. International Institute for Sustainable Development –IISD-.Winnipeg, Manitoba, Canada. 24 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment. In *Climate Change 2001. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- \_\_\_\_\_. 2002. *Climate Change and Biodiversity*. IPCC, Cambridge University Press, UK. Technical Paper V.
- IUCN (World Conservation Union). 2003. *Climate Change and Nature – adapting for the future*. Gland, Switzerland. 6 p.
- Kaimowitz, D. 2004. Useful Myths and Intractable Truths: The Politics of the Link Between Forests and Water in Central America. In Bonell, M; Bruijnzeel, LA. (eds.). 2004. *Forests, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management*. Cambridge University Press, UK. p. 86-98.
- Karousakis, K. 2007. Incentives to reduce GHG emissions from deforestation: lessons learned from Costa Rica and Mexico. *Organization for Economic Co-operation and Development –OECD/IEA-*, Paris, FR. 51 p.
- Kirilenko, A; Belotelov, N; Bogatyrev, B. 2000. Global model of vegetation migration: incorporation of climatic variability. *Ecological Modelling* 132:125-133.
- Loreau, M; Mouquet, N; González, A. 2003. Biodiversity as spatial insurance in heterogeneous landscapes. *PNAS* 100: 12765-12770.
- McCarty, JP. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology* 15(2):320-331.
- MEA (Millenium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis report*. Island Press, Washington D.C., USA.
- Mendoza, F; Chávez, M; González, B. 2001. Sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático. *Revista Forestal Centroamericana* 33:17-22.
- Naciones Unidas. 2004. *Estrategia para el Fomento de las Fuentes Renovables de Energía en América Central*. s.l., CEPAL. 107 p.
- Naess, LO; Bang, G; Eriksen, S; Vevatne, J. 2005. Institutional adaptation to climate change: flood responses at the municipal level in Norway. *Global Environ. Change* 15:125-138.
- Nepstad, D; Lefebvre, O; Lopes da Silva, U; Tomasella, J; Schlesinger, P; Solorzano, L; Moutinho, P; Ray, D; Guerreira Benito, J. 2004. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. *Global Change Biology* 10:704-717.
- Noss R. 2001. Beyond Kyoto: Forest Management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology* 15(3):578-590.
- Oki, T; Kanae, S. 2006. Global hydrological cycles and World Water Resources. *Science* 313:1068-1072.
- Organización Mundial de la Meteorología. 1996. San José Declaration: Latin American Action Plan on Assessment and Management of Water Resources. Adoptada a la Conferencia sobre Evaluación y Manejo de los Recursos Hídricos en América Latina y El Caribe. San José, Costa Rica, OMM/BID.
- PASOLAC (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central). 2006. *Evolución de las Experiencias de Servicios Ecosistémicos Hídricos*. PASOLAC. 46 p. (Documento No.495; Serie Técnica 1/2006).
- Pearson RG. 2006. Climate change and the migration capacity of species. *Trends in Ecology and Evolution* 21(3):111-113.
- Pounds, JA; Fogden, MPL; Campbell, JH. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398:611-615.
- Robledo, C; Forner, C. 2005. Adaptation of forest ecosystems and the forest sector to climate change. FAO, Roma. 96 p. (Forests and climate change Working Paper no. 2).
- Running, SW. 2006. Is Global Warming Causing More, Larger Wildfires? *Science* 313:927 – 928.
- Spittlehouse, DL. 2005. Integrating climate change adaptation into forest management. *Forestry Chronicle* 81:691-695.
- \_\_\_\_\_; Stewart, RB. 2003. Adaptation to climate change in forest management. *BC Journal of Ecosystems and Management* 4 (1):1-11.
- Still, CJ; Foster, PN; Schneider, SH. 1999. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. *Nature* 398:608-610.
- Townsend, SA; Douglas, MM. 2004. The effect of a wildfire on stream water quality and catchment water yield in a tropical savanna excluded from fire for 10 years (Kakadu National Park, North Australia). *Water Research* 38:3051-3058.
- United Nations. 2000. Millennium Development Goals, UN Assembly 18/9/2000, 55th Session. New York, US.
- \_\_\_\_\_. 2005. *The Millennium Development Goals Report*. United Nations, New York.

# Potencial del mecanismo de desarrollo limpio en las plantaciones forestales de Panamá<sup>1</sup>

**Raquel Argüello<sup>2</sup>; Bruno Locatelli<sup>3</sup>;  
Guillermo Navarro<sup>4</sup>; Mario Piedra<sup>5</sup>;  
Zenia Salinas<sup>6</sup>**

El mecanismo de desarrollo limpio (MDL) es un instrumento del Protocolo de Kyoto que permite que un país desarrollado invierta en proyectos energéticos o forestales en un país en desarrollo y utilice la reducción o eliminación de gases con efecto invernadero (GEI) para cumplir con sus compromisos de reducción.

Los dos principios más restrictivos para proyectos de forestación/reforestación bajo el MDL son la elegibilidad de tierras (sólo pueden ser reforestadas las llamadas tierras Kyoto; es decir, terrenos que antes del 31 de diciembre de 1989 no tenían cobertura boscosa) y la adicionalidad (demostrar que el proyecto no hubiera sido realizado sin el incentivo que representa el MDL).



Fotos: Manuel Serrano.

<sup>1</sup> Basado en Argüello R, MR. 2006. Potencial del Mecanismo de Desarrollo Limpio en plantaciones forestales de Panamá. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Socioeconomía Ambiental, CATIE. raquel@catie.ac.cr

<sup>3</sup> CIRAD UPR Forest Resources, Montpellier, France. bruno.locatelli@cirad.fr; Grupo Cambio Global, CATIE

<sup>4</sup> Economía y Política Forestal, Cátedra Latinoamericana de Gestión Forestal Territorial, CATIE. gnavarro@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Director del Programa de Educación Permanente, Universidad EARTH. mpiedra@catie.ac.cr

<sup>6</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. zsalinas@catie.ac.cr

## Resumen

Se determinó el potencial para proyectos de plantación forestal bajo el mecanismo de desarrollo limpio (MDL) en Panamá con un enfoque espacial. Se consideró la especie teca como representativa de las plantaciones forestales de Panamá. La adicionalidad y la elegibilidad de tierras son los dos principios más restrictivos para proyectos de forestación/reforestación bajo el MDL. Se estudiaron la adicionalidad y la elegibilidad de tierras para ubicar las áreas de Panamá con más potencial. El análisis financiero de la adicionalidad está compuesto por dos elementos: la no rentabilidad sin el MDL y la rentabilidad con el MDL, y éstos dependen de la calidad de sitio, la distancia al puerto de referencia y del valor de la tierra. En el análisis financiero se desarrolló una ecuación general para representar la rentabilidad de las plantaciones por corregimiento a través del indicador financiero Valor Esperado de la Tierra (VET). El VET se compara con el precio de mercado de la tierra con el cual se asume un *Proxy* del VET del mejor uso de la tierra sin considerar especulación. Se utilizaron variables *fuzzy*, para representar la variabilidad de los parámetros y de los resultados. Se concluyó que las áreas con mayor potencial, teniendo en cuenta la adicionalidad y elegibilidad de tierras, se encuentran en las regiones de Veraguas (36%), Panamá (28%), Darién (12%) y Herrera (9%).

**Palabras claves:** Plantación forestal; mecanismo de desarrollo limpio; Protocolo de Kyoto; incentivos forestales; análisis económico; Panamá.

## Summary

**Potential of the Clean Development Mechanism in Forest Plantations of Panama.** We determined the potentiality of the Clean Development Mechanism (CDM) for forest plantation projects in Panama. Additionality and land eligibility are the two most restrictive issues for afforestation/reforestation projects under the CDM. Additionality and land eligibility were evaluated with a spatial approach to locate the areas with more potentiality in Panama. The potentiality of the CDM is composed of two factors: a low profitability without the CDM and a high profitability with the CDM, both depending on soil quality, distance to exportation port, and land value. A financial analysis was applied with a general equation representing the profit value of the plantations by districts. This equation used the Land Expected Value (LEV) as financial indicator and compared the LEV with the market land value, assumed to be a proxy of the LEV for the best land use if land speculation is not considered. Fuzzy variables were used to represent the variability and ambiguity of the parameters and their values. Teak was selected as the representative species for forest plantations in Panama. Results showed that areas with greater potential of additionality and land eligibility were located in the regions of Veraguas (36%), Panama (28%), Herrera (9%) and Darien (12%).

**Keywords:** Forest plantation; Clean Development Mechanism; Kyoto Protocol; forest incentives; economics analysis; Panama.

## Introducción

El mecanismo de desarrollo limpio (MDL) es un instrumento del Protocolo de Kyoto que permite que un país desarrollado invierta en proyectos energéticos o forestales en un país en desarrollo y utilice la reducción o eliminación de gases con efecto invernadero (GEI) para cumplir

con sus compromisos de reducción (Auckland et ál. 2002). El MDL forestal tiene modalidades complejas para su cumplimiento, por las numerosas reglas y los costos de transacción asociados a las etapas del ciclo de proyecto, el desarrollo de una metodología de línea base y de monitoreo, el registro, la validación del proyecto

y la certificación de las remociones de carbono para su consiguiente venta en el mercado.

En Panamá, desde hace ya tiempo se suprimieron los incentivos a las plantaciones forestales. A principios de 2005, también se derogaron algunos artículos de la ley forestal; entre ellos, la exención del impuesto a la renta. Ahora, se buscan modelos

adecuados que permitan establecer proyectos realizables y redituables para los inversores y, con esto, acelerar la expansión del área reforestada. El MDL forestal tiene potencial, pero es necesario elaborar estudios previos para analizar ideas de proyectos que luego puedan ser validados por la Junta Ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). La adicionalidad de los proyectos y la elegibilidad de las tierras se presentan como los problemas principales para que una idea se convierta en un proyecto real bajo el MDL (CDM 2005). El objetivo de este estudio fue determinar el potencial del MDL en las plantaciones forestales de Panamá, tomando en cuenta criterios de elegibilidad y adicionalidad financiera. Se utilizó a la especie teca (*Tectona grandis*) como ejemplo, debido a que representa más del 70% de las plantaciones forestales de Panamá (ANAM 2004).

### Principios del MDL

Los dos principios más restrictivos para proyectos de forestación/reforestación bajo el MDL son la adicionalidad y la elegibilidad de tierras.

### Elegibilidad de tierras

El MDL forestal reconoce que la forestación y reforestación son las únicas actividades de uso de la tierra para el primer periodo de compromiso 2008 – 2012 (UNFCC 2002). En el marco del MDL, sólo pueden ser reforestadas las llamadas tierras Kyoto; es decir, terrenos que antes del 31 de diciembre de 1989 no tenían cobertura boscosa. Esto implica que las tierras que perdieron sus bosques después de la mencionada fecha, o donde ha crecido un bosque después de esa fecha, no podrán ser usadas para actividades de forestación y reforestación bajo el MDL.

### Adicionalidad

El proyecto tiene que ser adicional. Para que un proyecto de forestación/reforestación pueda ser considerado adicional tiene que demostrar que no hubiera sido realizado sin el incentivo que representa el MDL. La adicionalidad exige que los proyectos respondan a una iniciativa dentro del MDL y que no correspondan a acciones actualmente en curso o a desarrollarse en el futuro por iniciativas particulares o gubernamentales. De llevarse a cabo estas acciones, indicarían que el MDL no se requiere y por tanto, los proyectos no son elegibles como proyectos MDL (CDM 2005).

Se definió el potencial del MDL teniendo en cuenta la adicionalidad y la elegibilidad de tierras. La elegibilidad de tierras se refiere a seleccionar áreas sin bosque al 31 de diciembre de 1989. La adicionalidad se refiere a la posibilidad del proyecto de ser menos rentable sin MDL y la posibilidad de ser más rentable con el MDL.

En la reunión 21, la Junta Ejecutiva del MDL aprobó la “caja de herramientas para la adicionalidad”, aplicable a proyectos de forestación y reforestación. Dicha herramienta describe los pasos a seguir para demostrar la adicionalidad de un proyecto. Según esta herramienta, la adicionalidad se puede demostrar de dos maneras: a) por medio del enfoque de barreras, el cual muestra que, primero, existen barreras (sociales, culturales, tecnológicas, de inversión, entre otras)

a la implementación del proyecto forestal, y segundo que el MDL puede eliminar estas barreras. b) Por medio del enfoque financiero, el cual debe mostrar que, primero, el proyecto forestal (sin MDL) es menos rentable que las alternativas de uso del suelo, y segundo, que el MDL aumenta la rentabilidad del proyecto hasta volverlo posible.

### Método

#### Enfoque del estudio

Se definió el potencial del MDL teniendo en cuenta la adicionalidad y la elegibilidad de tierras. La elegibilidad de tierras se refiere a seleccionar áreas sin bosque al 31 de diciembre de 1989. La adicionalidad se refiere a la posibilidad del proyecto de ser menos rentable sin MDL y la posibilidad de ser más rentable con el MDL. El Departamento de Geomática de la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM 2006) elaboró el mapa de tierras Kyoto de Panamá, por lo que el énfasis estuvo en la adicionalidad.

La adicionalidad del MDL depende de la calidad de sitio, la distancia al puerto y el valor de la tierra. Este estudio se centró en el enfoque financiero de demostración de la adicionalidad. Con indicadores como el VAN y el VET y comparaciones con el valor de la tierra, se buscó representar la rentabilidad de las plantaciones con y sin MDL. Si el proyecto forestal no es rentable sin el MDL y es rentable con el MDL, se puede considerar adicional.

#### Estructura de costos - beneficios

Para el análisis financiero de la adicionalidad se desarrolló una ecuación general que calcula la rentabilidad de las plantaciones por corregimiento (unidad administrativa de nivel inferior al distrito y al municipio); en Panamá hay 1267 corregimientos. La ecuación utilizó el valor esperado de la tierra (VET), un indicador del valor máximo que se puede pagar por la tierra para un uso determinado. El VET se com-

paró con el precio de mercado de la tierra, el cual se asumió un *proxy* del VET del mejor uso de la tierra sin considerar la especulación. Para comparar el VET con el precio de mercado de la tierra, se utilizó el indicador de rentabilidad siguiente:

$$R = \frac{VET - Valortierra}{Valortierra}$$

Donde:

R: rentabilidad

VET: valor esperado de la tierra (US\$/ha)

La estructura financiera de costos - beneficios permitió establecer ecuaciones del VET para cada calidad de sitio. La calidad de sitio para este estudio se clasificó en alto, medio y bajo; para ello se elaboró un mapa de calidad de sitio a nivel Panamá con base en los mapas de fertilidad presentados por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP 2006), según los requerimientos de la teca descritos por Zeck y Drechsel (1991).

El VAN o el VET de un proyecto depende de varios factores como la escala o área del proyecto (A), la distancia (D) hasta el puerto de referencia, los impuestos (I) y el MDL (M). Por lo tanto, se consideró la siguiente ecuación del VET:

$$VET = \frac{\alpha_1 A + \alpha_2 AD + \alpha_3 AI + \alpha_4 AM + \alpha_5 M}{A}$$

Donde:

VET: valor esperado de la tierra por hectárea (US\$/ha)

D: Distancia hasta el puerto de referencia (km)

M: MDL (es un valor *dummy* 0 o 1 que indica si es un proyecto MDL)

A: área del proyecto de plantación (ha)

I: impuesto (es un valor *dummy* 0 o 1 que indica si se pagan o no impuestos)

El factor  $\alpha 5M$  expresa que algunos costos del MDL son independientes de la escala del proyecto.

Para el trabajo se decidió utilizar los tCER porque son más fáciles de utilizar por un proyecto. Los ICER son más riesgosos debido a que durante el periodo de acreditación se podría contrarrestar la cantidad de GEI removidos, lo cual invalidaría los certificados emitidos. La cantidad de tCER es igual a la cantidad de carbono acumulado por hectárea al momento de la verificación (cada 5 años). El precio de los tCER fue calculado según la siguiente fórmula (Locatelli y Pedroni 2004):

$$tCER = CER_{t_1} - \frac{CER_{t_2}}{(1 + \partial)^{L(tCER)}}$$

Donde:

tCER: precio de los créditos temporales

CER: precio de los créditos permanentes; ahora ( $t_1$ ) y cuando vence el tCER ( $t_2$ )

$\partial$ : tasa de descuento de un país industrializado

L (tCER): periodo de tiempo o caducidad de cada crédito (5 años)

Se calculó el precio de los tCER con una tasa de 1,02%, promedio de las tasas de dos países (España y Canadá).

#### Datos de crecimiento y CO<sub>2</sub>

Para el cálculo de los beneficios del MDL se calculó la cantidad de carbono almacenado por hectárea en una plantación de teca, con la siguiente ecuación:

$$CO_{2total} = Vcom \times DM \times BEF \times TC \times \frac{44}{12}$$

Donde:

Vcom: volumen comercial

DM: densidad de la madera seca

BEF: factor de expansión de biomasa

TC: tasa de carbono

44/12: factor de conversión CO<sub>2</sub>/C

Para calcular el volumen comercial de la teca se utilizaron las ecuaciones indicadas por Vallejo (2006)<sup>7</sup> del modelo de crecimiento para teca analizado en hoja de cálculo Excel. Se asumió un factor de expansión (BEF) de 1,53 (Kraenzel et ál. 2003) para plantaciones de teca en Panamá. Se asumió una tasa de carbono (TC) de 0,5 (IPCC 2003). Según Brown (1997), la teca presenta densidades de 0,50 a 0,55 para Asia con un 12% de humedad. La densidad seca, calculada con la ecuación de Brown (1997), resultó entre 0,41 a 0,45; entonces, se utilizó el promedio de 0,43.

#### Datos económicos

La madera de los primeros raleos se vende como leña a un precio de US\$17/m<sup>3</sup> en Panamá<sup>8</sup>. El precio de la madera de los siguientes raleos y de la cosecha final depende del diámetro del rollo (Cuadro 1). En cuanto al precio de carbono, se estableció una lista de 20 precios de tCO<sub>2</sub> pagados a proyectos, según la información dada por Hasselknippe y Røine (2006) y Eguren (2004). Se calculó el valor mínimo (3,5), máximo (17,6) y promedio (6,36 US\$/tCO<sub>2</sub>).

#### Procedimiento

Se validó primero el enfoque financiero buscando correlación entre rentabilidad y tasa de plantación. Para cada provincia se disponía de datos de la ANAM sobre plantaciones desde 1988 hasta el 2004, periodo en el cual se aplicaron incentivos que consistían en la exención de impuestos a las plantaciones (I = 0). Con datos sobre áreas de cada calidad de sitio y distancia hasta el puerto, se aplicó la fórmula del VET con I = 0 y M = 0 para calcular un promedio ponderado del VET (se ponderó con las áreas por calidad de sitio). Luego, con el valor de la tierra en la provincia, se calculó el

<sup>7</sup> Vallejo, A. 2006. Modelo de crecimiento de teca. Grupo Cambio Global, CATIE. Com. pers.

<sup>8</sup> Verjans, JM. 2006. Precios de leña de teca. Ecoforest, Panamá S.A. Panamá. Com. pers.

### Cuadro 1.

Precios corrientes para madera rolliza de teca en Panamá

Diámetro (cm)	Precio (US\$/m <sup>3</sup> )
12,7 – 18,8	110 - 125
19,1 – 25,1	135 - 155
25,5 – 31,5	160 - 185
>31,8	190 - 215

indicador de rentabilidad. Con estos datos se realizó la validación del análisis financiero buscando correlación entre la rentabilidad (variable explicativa) y varios indicadores de la tasa de plantaciones (variable dependiente). La tasa de plantaciones se calculó como la razón entre una área de plantación (de teca o de plantaciones en general) y un área de referencia (por ejemplo pasturas, áreas no forestales o área total) con datos de la ANAM (2003).

Para representar la variabilidad de los parámetros y de los resultados, se utilizaron ‘fuzzy numbers’ de tipo triangular, definidos por tres valores. Un número fuzzy, por ejemplo,  $x = <1, 2, 4>$ , implica que es imposible que  $x$  sea inferior a 1 o superior a 4, y que el valor más posible de  $x$  es 2. Con la técnica de los fuzzy numbers se pueden realizar operaciones algebraicas como adición, sustracción, multiplicación y división (Bede 2006). Aplicando el cálculo de rentabilidad, se obtiene un resultado fuzzy (un valor máximo, mínimo y más posible), del cual se obtiene la posibilidad de que la rentabilidad sea mayor a cero. Este análisis se realizó en hoja de cálculo Excel, calculando primero los valores fuzzy del VET para cada corregimiento y por calidad de sitio. Con estos valores fuzzy del VET se obtuvo la posibilidad de que la rentabilidad sea positiva o negativa por cada corregimiento. Se calculó la posibilidad de la rentabilidad  $>0$  para cada corregimiento con y sin MDL. Los datos de calidad de sitio, valor de tierra y distancia provienen

de mapas elaborados en este estudio con base en los mapas de fertilidad presentados por el IDIAP (2006), de datos proveídos por los técnicos del Departamento Forestal de la ANAM en cuanto a precios de la tierra para plantaciones forestales, y del mapa de carreteras y caminos de Panamá elaborado por el Departamento de Geomática de la ANAM.

La validación del enfoque financiero demostró que la tasa de plantación dependía, en cierta forma, de la rentabilidad. Esto confirma que el enfoque del análisis financiero es válido para explicar parcialmente las decisiones en cuanto a plantaciones.

Para identificar los corregimientos con más posibilidad de plantaciones adicionales para el MDL, se identificaron las áreas con mayor y menor rentabilidad con y sin el MDL. Para identificar los corregimientos con más posibilidades de adicionalidad, se calculó para cada corregimiento la posibilidad de adicionalidad con las fórmulas siguientes:

$$\text{Posibilidad(adicional)} = \text{posibilidad(no\_rentable\_sin MDL)} \text{ y } (\text{rentable\_con MDL})$$

$$\text{Posibilidad(adicional)} = \text{MIN}[\text{posib.}(no\_rentable\_sin MDL.), \text{posibilidad}(\text{rentable\_con MDL})]$$

Con los resultados se producen mapas de posibilidad de adicionalidad con ArcView 3.3. Además, se analizaron los factores explicativos de la adicionalidad con pruebas del estadístico Chi-cuadrado de Pearson ( $\chi^2$ ). Para la elaboración del mapa potencial del MDL (tierras Kyoto, más adicionalidad), se intersecaron las áreas adicionales con las tierras Kyoto, utilizando la extensión *Geoprocessing* del programa ArcView 3.3. Con base en el mapa de tierras Kyoto (ANAM 2006), se elaboró un mapa de tierras Kyoto por corregimiento.

### Resultados y discusión Crecimiento y carbono

En promedio, el carbono acumulado en una hectárea de plantación de teca situada en un sitio de calidad alta, media y baja, al final de una rotación de 15, 20 y 25 años, es de 260 tCO<sub>2</sub>, 170 tCO<sub>2</sub> y 65 tCO<sub>2</sub> respectivamente. Según los estudios elaborados por Kraenzel et ál. (2003) en plantaciones de teca de 20 años en Panamá, el promedio de carbono acumulado es de 120 tCO<sub>2</sub>, lo que representa un valor cercano a los resultados del presente trabajo. Sanford y Cuevas (1996) reportan valores de carbono acumulado de 146 tCO<sub>2</sub>.

Los volúmenes comerciales para una calidad alta, media y baja fueron de 281 m<sup>3</sup>/ha, 165 m<sup>3</sup>/ha y 88 m<sup>3</sup>/ha respectivamente. Estos resultados son similares a los reportes sobre crecimiento y rendimiento de teca en Costa Rica, donde el volumen para una hectárea de plantación de 20 años es de 230 m<sup>3</sup>/ha (Pérez et ál. 2003).



## Análisis financiero

El análisis de costos/beneficios permitió obtener los VET por calidad de sitio, con base en los factores explicativos del VET (Cuadro 2).

## Validación

En el análisis financiero, la validación indicó que se debe trabajar con valores menos extremos de crecimiento de plantaciones para calidades de sitio altas y bajas. Los volúmenes de producción fueron moderados para obtener valores menos extremos; es decir, más cercanos a valores medios. Esto se puede explicar por el hecho de que los datos de crecimiento se aplican a sitios de muy alta o muy baja calidad y que la información de áreas por calidad de sitio no se refiere a calidades tan contrastadas. Con la validación, se ajustaron las fórmulas del análisis de rentabilidad.

## Potencial del MDL

(no rentabilidad sin MDL)

Para el criterio de no rentabilidad sin MDL, las áreas con mayor potencial MDL (>75%) se localizan en las provincias de Chiriquí (26%), Veraguas (16%) y Panamá (15%), en zonas de calidad baja (59%) y media (41%). Estas presentan diferencias significativas con respecto a la calidad de sitio, distancia hasta el puerto y con el valor de la tierra. Estas zonas se localizan en tierras con valor por arriba de US\$2000/ha y en general a más de 400 km del puerto.

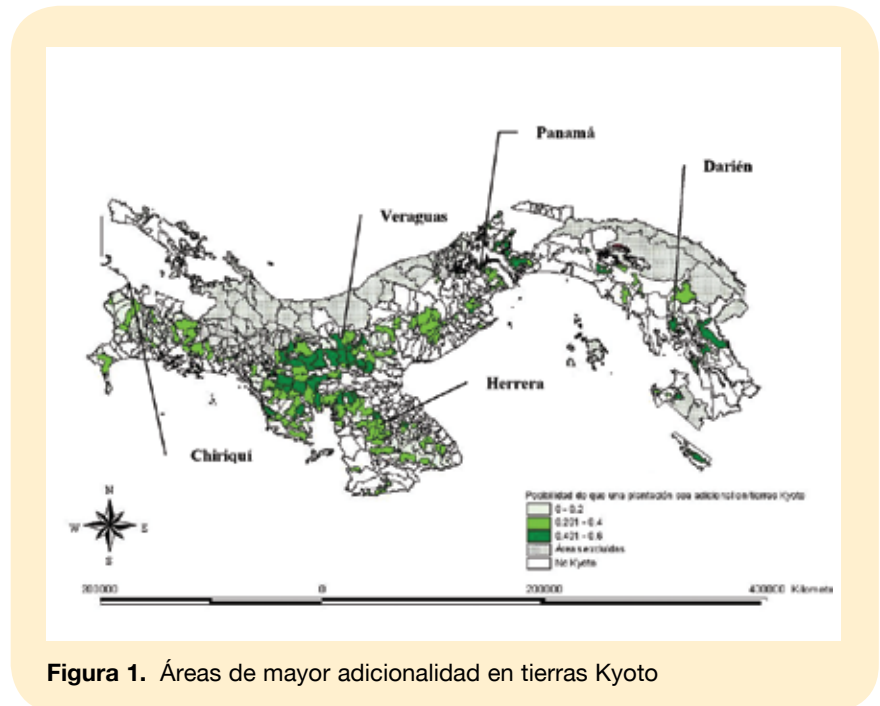


Figura 1. Áreas de mayor adicionalidad en tierras Kyoto

## Potencial del MDL (rentables con MDL)

Según el criterio de rentabilidad con MDL, las áreas con mayor potencial MDL (>75%) se localizan en las provincias de Darién (92%) y Panamá (8%). Estas zonas corresponden a tierras de calidad alta, con un valor por debajo de US\$2000/ha y a menos de 400 km del puerto.

## Adicionalidad

Ningún área con alta rentabilidad con MDL podrá demostrar adicionalidad porque también es rentable sin el MDL. Por lo tanto, las áreas

adicionales son las que presentan una rentabilidad intermedia. Las áreas con mayor adicionalidad se encuentran localizadas en Veraguas (36%), Panamá (19%) y Herrera (16%).

## Adicionalidad y tierras Kyoto

Las áreas con mayor potencial del MDL (>40%), teniendo en cuenta aquellas áreas adicionales y las tierras Kyoto, se localizan en Veraguas (36%), Panamá (28%), Darién (12%) y Herrera (9%) (Fig. 1). Los proyectos MDL más adelantados en Panamá que tienen aprobado financiamiento por parte

### Cuadro 2.

Valores más posible (US\$) de los VET para cada calidad de sitio y en función de los factores presentados en la estructura de costo/beneficio.


Calidad de sitio (VET más posible)	Beneficio neto por hectárea (factor de A)	Costos de transporte por hectárea y km (factor de AD)	Costos de impuestos (factor de AI)	Beneficio neto MDL por hectárea (factor de AM)	Costos de transacción del MDL por proyecto (factor de M)
Alta	62.927	-37,40	-29.735	1.508	-116.810
Media	7.033	-11,24	-7.462	812	-104.648
Baja	-5.631	-3,90	-1.985	269	-98.360

del Banco Mundial, se encuentran en las zonas de Chiriquí y Veraguas a cargo de una empresa privada. Además, recientemente se presentaron dos propuestas a la ANAM<sup>9</sup>. La primera es un proyecto piloto en pequeña escala (30 hectáreas) con financiamiento de la Agencia de Cooperación Japonesa (JICA) en la zona de Coclé. La segunda propuesta proviene de la empresa Futuro Forestal S.A. en la zona este de la provincia de Panamá, distritos de Cañitas y Cañazas; esta se encuentra a la espera de la carta de aprobación por parte de la ANAM como proyecto de reforestación bajo el MDL y en proceso de búsqueda de financiamiento para llevar adelante el proyecto. Esta

información es coherente con los resultados del estudio.

### Conclusiones y recomendaciones

La validación del enfoque financiero demostró que la tasa de plantación dependía, en cierta forma, de la rentabilidad. Esto confirma que el enfoque del análisis financiero es válido para explicar parcialmente las decisiones en cuanto a plantaciones. Las áreas con mayor adicionalidad se encuentran localizadas en Veraguas, Panamá y Herrera. Las áreas con mayor potencial del MDL, teniendo en cuenta aquellas áreas adicionales y las tierras Kyoto, se localizan en Veraguas, Panamá, Darién y Herrera.

Los resultados obtenidos permitirán orientar los esfuerzos del sector forestal panameño en la elaboración de proyectos MDL que permitan demostrar la adicionalidad sin mayores complicaciones. Sin embargo, al momento de elaborar un proyecto, se deberá demostrar, caso por caso, el cumplimiento de las condiciones de adicionalidad del proyecto y de elegibilidad de las tierras, así como los otros requerimientos del MDL. Los datos de este estudio pueden ser útiles, pero deberán ser adaptados a la escala del proyecto y complementados con otras fuentes de información. El enfoque que se desarrolló podrá servir de base para analizar ideas de proyectos MDL. 

### Literatura citada

- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, PA). 2003. Informe final de resultados de la cobertura boscosa y uso del suelo de la República de Panamá: 1992 – 2000. Panamá. 107 p.
- \_\_\_\_\_. 2004. Informe de las plantaciones totales de 1988 a 2004 en Panamá. Departamento de Registro Forestal, ANAM. Panamá. 10 p.
- \_\_\_\_\_. 2006. Mapa de tierras Kyoto (en línea). Departamento de Geomática de ANAM. Consultado 11 de feb. 2006. Disponible en [http://www.anam.gob.pa/uccd/cambio\\_climatico/mdlmapa.htm](http://www.anam.gob.pa/uccd/cambio_climatico/mdlmapa.htm)
- Aukland, L; Moura, P; Costa, S; Bass, S; Huq, N; Landell-Mills, R; Carr, R. 2002. Colocando los cimientos para el MDL: Preparando al sector del uso de la tierra. Una guía rápida al MDL. Londres, UK, DFID. 40 p.
- Bede, B. 2006. Product type operations between fuzzy numbers and their applications in geology. Acta Polytechnica Hungarica 3(1):123-139.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Rome, IT. FAO Forestry Paper no. 137. 55 p.
- CDM (Clean Development Mechanism). 2005. Report of meeting EB 21 (Annex 16: Tool for the demonstration and assessment of additionality in A/R CDM project activities). Bonn, GE, UNFCCC. Consultado el 16-02-2006. <http://cdm.unfccc.int/EB/021/eb21repan16.pdf>
- Eguren, L. 2004. El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Santiago, CH, CEPAL. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. 85 p.
- Hasselknippe, H; Røine, K. 2006. Carbon 2006 (en línea). Consultado 15 mar. 2006. Disponible en [http://www.pointcarbon.com/wimages/Carbon\\_2006\\_final\\_print.pdf](http://www.pointcarbon.com/wimages/Carbon_2006_final_print.pdf)
- IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá). 2006. Zonificación de suelos de Panamá por nivel de nutrientes. Ciudad de Panamá. Panamá. 24 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry (GPG LULUCF) (en línea). Institute for Global Environmental Strategies (IGES). National Greenhouse Gas Inventories Programmes. Consultado 5 de sep. 2006. Disponible en [http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf\\_files/0\\_Task1\\_Cover/Cover\\_TOC.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/0_Task1_Cover/Cover_TOC.pdf)
- Kraenzel, M; Castill, A; Moore, T; Potvin, C. 2003. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. Forest Ecology and Management. 173:213-225.
- Locatelli, B; Pedroni, L. 2004. Accounting methods for carbon credits: impacts on the minimum area of forestry projects under the Clean Development Mechanism. Climate Policy 4(2): 193-204.
- Pérez, D; Kanninen, M. 2003. Provisional equations for estimating total and merchantable volume of *Tectona grandis* trees in Costa Rica. Forest, Trees and Livelihoods 13:345-359.
- Sanford, R; Cuevas, E. 1996. Root growth and rhizosphere interactions in tropical forests. In Mulkey, SS; Chazdon, RL; Smith, AP (eds) Tropical forest plant ecophysiology. New York, Chapman and Hall. p. 268-300.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2002. Modalities and procedures for a clean development mechanism as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol: Decisión 17/CP 7 (en línea). Consultado el 4 abr. 2006. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a02.pdf#page=20>
- Zeck, W; Drechsel, P. 1991. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: A tabular review. Plant and Soil Journal 131(1):29-46.

<sup>9</sup> Dawson, E. 2006. Proyectos MDL en Panamá. Departamento de Cambio Climático, ANAM. Com. pers.

# Diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la zona atlántica de Costa Rica<sup>1</sup>

Mario Chacón L.<sup>2</sup>; Celia A. Harvey<sup>3</sup>;  
Diego Delgado<sup>4</sup>

La deforestación y fragmentación de extensas áreas de bosques contribuyen a dos problemas globales: la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. Al deforestar extensas áreas de bosques se crean paisajes fragmentados, lo cual actúa de manera negativa sobre la biodiversidad debido a que reduce y deteriora hábitats naturales e interrumpe la conectividad, lo que puede afectar significativamente el tamaño de las poblaciones de especies. Cuando se deforesta, se liberan importantes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, que contribuyen al aumento del efecto invernadero y por consiguiente al incremento de la temperatura de la atmósfera.



Fotos: CATIE.

<sup>1</sup> Basado en Chacón, M. 2003. Cobertura arbórea y cercas vivas en un paisaje fragmentado, Río Frío, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.

<sup>2</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE. mchacon@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE. charvey@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. ddelgado@catie.ac.cr

## Resumen

La deforestación de bosques ha sido una de las principales causas de pérdida de biodiversidad y del cambio climático debido a la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Se hace necesario conocer la diversidad arbórea y los contenidos de carbono en paisajes fragmentados para determinar su potencial para conservar la biodiversidad y mitigar el cambio climático. El objetivo de este estudio fue caracterizar la diversidad arbórea y estimar el almacenamiento de carbono en bosques secundarios, bosques ribereños y pasturas con árboles dispersos en la zona Atlántica de Costa Rica. En total, se contabilizaron 1157 árboles con dap >10 cm, agrupados en 145 especies, 46 familias. En los bosques secundarios, se registraron 90 especies de árboles, 91 especies en los bosques ribereños, 25 especies en pasturas con alta densidad de cobertura arbórea y 9 especies en pasturas con baja densidad de cobertura arbórea. Entre las principales especies en el paisaje estuvieron *Pentaclethra maculosa*, *Stryphnodendron microstachyum*, *Carapa guianensis*, *Cordia alliodora* y *Goethalsia meiantha*. Los depósitos promedio de carbono en la biomasa de los árboles fueron de 188,35 t/ha en bosques ribereños, 103,69 en t/ha en bosques secundarios, 22,3 t/ha en pasturas con alta cobertura arbórea y 20,6 t/ha en pasturas con baja cobertura arbórea. Este estudio demostró que los bosques ribereños y los árboles en pasturas juegan un papel importante en la conservación de la biodiversidad arbórea y poseen un alto potencial para el almacenamiento de carbono en el ámbito local y de paisaje.

**Palabras claves:** Deforestación; biodiversidad; cambio climático; fragmentación del bosque; captura del carbono atmosférico; zona Atlántica; Costa Rica.

## Summary

**Tree diversity and carbon storage in a fragmented landscape of the zone Atlantic, Costa Rica.** Forest deforestation is one of the principal causes for biodiversity loss and climate change. It is important to know the tree cover diversity and the carbon content in fragmented landscapes to determine its potential for biodiversity conservation and climate change mitigation. The main goal of this study was to characterize tree cover diversity and estimate carbon contents in secondary forest, riparian forest and pasture with trees in the Atlantic zone, Costa Rica. A total of 1157 individual trees were recorded, grouped in 145 species from 46 families. In secondary forest, 90 species were recorded, 91 in riparian forest, 25 in pasture with high tree cover density, and 9 in pasture with low tree cover density. The most important tree species in the landscape were *Pentaclethra maculosa*, *Stryphnodendron microstachyum*, *Carapa guianensis*, *Cordia alliodora* and *Goethalsia meiantha*. The carbon content in the biomass of trees was 188.35 Mg/ha for riparian forest, 103.69 Mg/ha in secondary forest, 22.3 Mg/ha in pasture with high tree cover density, and 20.6 t/ha in pasture with low tree cover density. This study demonstrated that fragmented landscapes with an arrangement of land uses with presence of tree cover are important for biodiversity conservation and increase removal of CO<sub>2</sub> from the atmosphere.

**Keywords:** Deforestation; biodiversity; climate change; fragmented forest; capture of the atmospheric carbon; Atlantic zone; Costa Rica.

## Introducción

La deforestación y fragmentación de extensas áreas de bosques contribuyen a dos problemas globales: la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. Al deforestar extensas áreas de bosques se crean paisajes fragmentados, lo cual actúa de manera negativa sobre la biodiversidad debido a que reduce y deteriora hábitats naturales e interrumpe la conectividad, lo que puede afectar significativamente el tamaño de las poblaciones de especies (Saunders et ál. 1991, Kattan 2002). Cuando se deforesta, se liberan importantes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (principal gas invernadero), que contribuyen al aumento del efecto invernadero y por consiguiente al incremento de la temperatura de la atmósfera. El cambio climático puede causar, a corto plazo, el aumento de la temperatura promedio mundial, el derretimiento de grandes glaciales y el aumento de los niveles del mar, con importantes impactos ecológicos, sociales y económicos (Lal y Kimble 1998, IPCC 2007).

En el pasado, la mayor parte del continente americano estuvo cubierto por extensas áreas de bosques tropicales, pero en la actualidad la deforestación ha reducido estas áreas dejando paisajes fragmentados con numerosos parches de bosque remanente inmersos en una matriz agrícola y ganadera. En estos agropaisajes es común encontrar distintos usos de la tierra con presencia de cobertura arbórea como bosques ribereños, bosques secundarios, árboles dispersos en potreros y árboles presentes en áreas agrícolas (Schelhas y Greenberg 1996, Laurance 2001). En el pasado, los usos agropecuarios no se tomaban en cuenta en los esfuerzos de conservación; sin embargo, en años recientes se ha demostrado que la cobertura arbórea, tanto a escala de finca como de paisaje, genera

servicios ecosistémicos importantes como mantener procesos ecológicos, conservar la biodiversidad y remover carbono atmosférico (Harvey 2001, Montagnini y Nair 2004).

El objetivo de este estudio fue caracterizar la diversidad de árboles y estimar el almacenamiento de carbono en la biomasa arbórea de bosques secundarios, bosques ribereños y pasturas con diferentes densidades de cobertura arbórea en un paisaje fragmentado de la costa atlántica de Costa Rica. Se espera que la información generada en este estudio permita mejorar los esfuerzos de conservación de la biodiversidad y de mitigación al cambio climático que se realizan bajo el marco de proyectos de desarrollo o de diseño de políticas ambientales.

## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

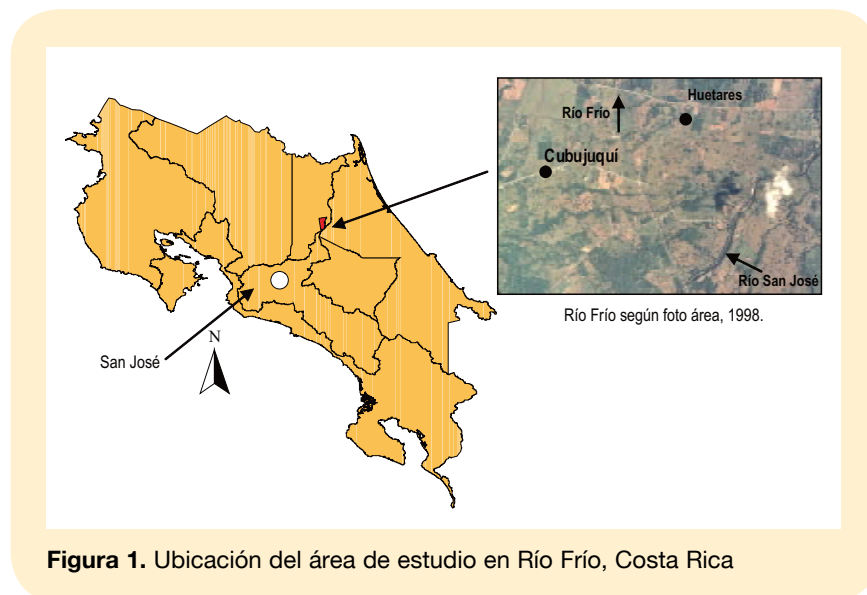
La investigación se realizó durante los meses de marzo a julio del 2003, en un área de 4483 ha en la localidad de Río Frío, perteneciente al sector norte de la región Atlántica de Costa Rica. La zona se caracteriza por la actividad ganadera de carne y leche. Geográficamente, se encuentra entre los 10°36'05" y 10°34'03" latitud norte y 84°04'55" y 84°06'06" longitud oeste, con alturas entre

100 y 300 msnm. La precipitación anual es de 4120 mm, la humedad relativa promedio es del 88% y la temperatura promedio es de 25,4°C (Miranda 1991). La zona de vida, según la clasificación de Holdridge (1967), corresponde a bosque muy húmedo tropical y los órdenes de suelos predominantes son Entisol e Inceptisol, representados en un 6% y 94% del área total de la zona respectivamente (ITCR 2001). En este estudio la caracterización solamente se realizó en los suelos del orden Inceptisol (Fig. 1).

### Composición, estructura y diversidad arbórea de diferentes usos de la tierra

#### Muestreo

Los usos de la tierra seleccionados para la caracterización florística y la cuantificación de carbono fueron bosques secundarios intervenidos, bosques ribereños y pasturas con alta y baja densidad de cobertura arbórea (cobertura de copas en potrero mayor a 50% o entre 4 y 15%, respectivamente). Mediante el uso de un mapa de uso de la tierra (Chacón 2003) y un sistema de posicionamiento global (GPS Garmin) se ubicaron al azar y se establecieron en fincas de productores 32 parcelas de muestreo de



100 m x 20 m (0,2 ha, 8 parcelas por cada uso de la tierra). En los bosques ribereños, si el ancho de la franja de bosque no permitía el establecimiento de la parcela a un solo lado, fue necesario dividirla en dos subparcelas de diez metros de ancho por cien metros de largo (10 m x 100 m) a cada lado del curso de agua. En cada una de estas parcelas de 0,2 ha se midieron todos los árboles con un dap  $\geq 10$  cm. Además, dentro de cada parcela se establecieron cuatro subparcelas de 5 m x 5 m en donde se midieron todos los individuos con valores de dap entre 2,5 y 9,9 cm (Fig. 2).

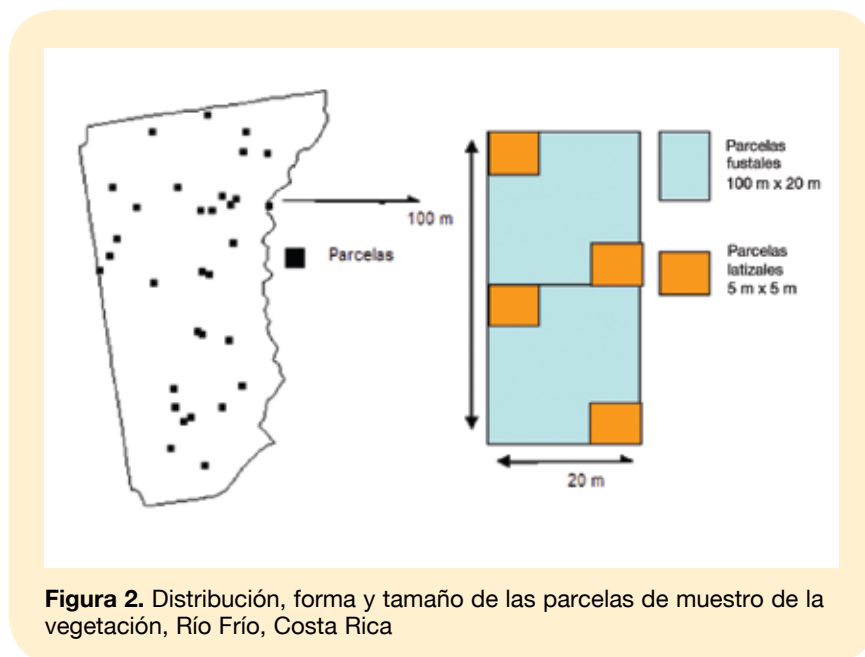
Todas las especies de árboles fueron identificadas en el campo con la ayuda de personal del herbario de la Universidad Nacional<sup>5</sup> y el uso de guías dendrológicas y libros de especies arbóreas específicas de la zona y de Costa Rica (Holdridge y Poveda 1997, Sánchez-Vindas et ál. 1997, Fournier y García 1998, Jiménez 1999, Jiménez et ál. 1999). De los individuos que no pudieron ser identificados en campo se recolectó una muestra botánica para su identificación por curadores del herbario de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) y del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio). Las palmas y las lianas no fueron tomadas en cuenta para este estudio.

#### Riqueza y diversidad arbórea

Para cada parcela se obtuvo la riqueza (s) y la diversidad de especies de acuerdo al cálculo de los índices de Shannon y Simpson (Magurran 1988) con el programa *Estimates v.6* (Cowell 1997). Para la diversidad florística con dap entre 2,5 y 9,9 cm, *Estimates* no logró hacer los cálculos correspondientes debido a la poca cantidad de datos.

#### Composición y estructura arbórea

Se determinó la abundancia y área basal por parcela, la frecuencia de



**Figura 2.** Distribución, forma y tamaño de las parcelas de muestreo de la vegetación, Río Frío, Costa Rica

individuos por especie y la frecuencia de especies por familia para cada una de las ocho parcelas por uso de la tierra. Se calculó también el índice de valor de importancia (IVI) (Curtis y McIntosh 1950) para determinar las especies más importantes por parcela y para cada uno de los diferentes usos de la tierra analizados. Este índice está dado por:  $IVI \text{ especie } X = A\%a + D\%a + F\%a$ , donde  $A\%a$  es la abundancia relativa de la especie  $a$ ,  $D\%a$  es la dominancia relativa de la especie  $a$  y  $F\%a$  es la frecuencia relativa de la especie  $a$ . El IVI da valores en un rango de entre 0 y 100. Para la descripción de la estructura arbórea, se tomó en cuenta la densidad de individuos y distribución diamétrica de los árboles.

#### Estimación del contenido de carbono en la biomasa arbórea

Para determinar el carbono en la biomasa del componente arbóreo se utilizó la ecuación alométrica general para bosques tropicales (Brown 1997). Las ecuaciones de biomasa generalmente muestran problemas a la hora de calcular biomasa en árboles con dap  $< 10$  cm y  $> 80$  cm, pues

no se encuentran suficientes individuos para la toma de datos; por eso, se decidió excluir estos individuos del análisis. La ecuación de Brown calcula, a partir del dap, la cantidad de biomasa seca en kilogramos para cada individuo; posteriormente se aplica el factor de conversión 0,5 para transformar la biomasa a carbono:  $Y = \exp\{-2.134 + 2.530 \cdot \ln(D)\}$ , donde  $Y$  es la biomasa por árbol en kg y  $D$  el diámetro a la altura del pecho.

Con el dato de kilogramos de carbono por árbol se hace la sumatoria para la parcela y luego se extrapola a carbono en Mg/ha. Para el cálculo del carbono a nivel del paisaje, se multiplica el carbono en Mg/ha de cada uso de la tierra por el total de hectáreas de ese uso en el paisaje evaluado. La información de los usos de la tierra en la zona se tomó de Chacón (2003). Este estudio realizó el levantamiento de usos de la tierra mediante fotografías aéreas y comprobación de campo. Según entrevistas a los dueños de las fincas, los pastizales tenían edades mayores a 20 años, los bosques secundarios entre 20 y 40 años y los bosques

<sup>5</sup> La identificación en el campo, estuvo a cargo de Mainor Mesén y Marco Otárola Rojas, asistentes del Herbario "Juvenal Valerio Rodríguez" de la UNA. La identificación en herbario estuvo a cargo de Luis Poveda y Pablo Sánchez-Vindas.

riberños eran bosques remanentes intervenidos. Ver en Chacón (2003) más detalles sobre el proceso de caracterización del paisaje.

### Análisis de datos

Para comparar la riqueza, abundancia, diversidad de árboles y contenido de carbono entre usos de la tierra se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de Duncan, mediante el programa INFOSTAT versión 1.6 (Grupo INFOSTAT 2003).

## Resultados

### Diversidad de árboles con dap $\geq 10$ cm

En el paisaje de Río Frío se registraron un total de 1157 árboles (145 especies y 46 familias) con dap  $\geq 10$  cm (Cuadro 1). A nivel de usos de la tierra, la riqueza y abundancia de especies fueron mayores en los

bosques secundarios y bosques ribereños (Cuadro 2). A nivel de parcela, el número de familias promedio ( $F_{3,28}=56.25$ ,  $p<0.0001$ ), el número de especies promedio ( $F_{3,28}=34.66$ ,  $p<0.0001$ ) y el número de individuos promedio ( $F_{3,28}=36.75$ ,  $p<0.0001$ ) fue mayor en bosques secundarios y bosques ribereños que en las pasturas con alta o baja densidad de cobertura arbórea. Por su parte, según el análisis estadístico, la diversidad determinada por los índices de Simpson y Shannon no mostró diferencias significativas entre los bosques secundarios intervenidos y los bosques ribereños.

### Especies más importantes según usos de la tierra

Los bosques secundarios, los bosques ribereños y las pasturas estuvieron dominados por diez o menos especies (Cuadro 3). La mayoría de las

especies en los bosques secundarios y bosques ribereños fueron generalistas, como *Pentaclethra macroloba* o *Carapa guianensis*, o heliófitas durables, como *Goethalsia meiantha* y *Casearia arborea*. En los pastos con alta densidad de cobertura arbórea, 10 de las 25 especies registradas conformaron el 70,6% de la estructura arbórea. *Pentaclethra macroloba* fue la especie más importante según el IVI en todos los hábitats, a excepción de las pasturas con baja densidad de cobertura arbórea, donde la especie más importante fue *Cordia alliodora*. Las especies presentes en las pasturas son remanentes de bosques primarios, como *Carapa guianensis* o *Virola koschnyi*, especies que han regenerado de manera natural, como *Cordia alliodora* o *Pentaclethra macroloba*, o especies sembradas por finqueros, como *Inga edulis* o *Gliricidia sepium*.

**Cuadro 1.**

Listado de especies dap  $\geq 2,5$  cm

ESPECIE	FAMILIA	GRUPO ECOLÓGICO	GRUPO COMERCIAL
<i>Acacia</i> sp.	FABACEAE/MIM.		NO COMERCIAL
<i>Alchornea costaricensis</i> Pax. K. Hoffm.	EUPHORBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Ampelocera macrocarpa</i> Forero & A.H. Gentry	ULMACEAE	GEN	NO COMERCIAL
<i>Anaxagorea crassipetala</i> Hemsl.	ANNONACEAE		NO COMERCIAL
<i>Anaxagorea</i> sp.	ANNONACEAE		
<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth	FABACEAE/PAP.	DESEABLES	
<i>Apeiba membranacea</i> Spruce ex Benth.	TILIACEAE	HD	NO COMERCIAL
<i>Ardisia</i> sp.	MYRSINACEAE		
<i>Beilschmiedia</i> sp.	LAURACEAE		
<i>Bixa orellana</i> L.	BIXACEAE		
<i>Bravaisia integerrima</i> (Spreng.) Standl.	ACANTHACEAE		
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	MORACEAE	GEN	DESEABLES
<i>Brosimum costaricanum</i> Liebm.	MORACEAE		
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Berg	MORACEAE	GEN	ACEPTABLES
<i>Calatola costaricensis</i> Standl.	ICACINACEAE		NO COMERCIAL
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	MELIACEAE	GEN	DESEABLES
<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	FLACOURTIACEAE	HD	NO COMERCIAL
<i>Casearia standleyana</i> Sleumer	FLACOURTIACEAE		

**Cuadro 1.**Listado de especies dap  $\geq$  2,5 cm

ESPECIE	FAMILIA	GRUPO ECOLÓGICO	GRUPO COMERCIAL
<i>Cecropia insignis</i> Liebm.	CECROPIACEAE	HE	NO COMERCIAL
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	CECROPIACEAE	HE	NO COMERCIAL
<i>Cecropia peltata</i> L.	CECROPIACEAE	HE	NO COMERCIAL
<i>Cedrela tonduzii</i> C. DC.	MELIACEAE		
<i>Chimarrhis parviflora</i> Standl.	RUBIACEAE	ACEPTABLES	
<i>Chione silvicola</i> (Standl.) W.C. Burger	RUBIACEAE		
<i>Chrysophyllum</i> sp.	SAPOTACEAE		
<i>Coccoloba tuerckheimii</i> Donn. Sm.	POLYGONACEAE	ACEPTABLES	
<i>Colubrina spinosa</i> Donn. Sm.	RHAMNACEAE		NO COMERCIAL
<i>Conceveiba pleiostemona</i> Donn. Sm.	EUPHORBIACEAE	HD	NO COMERCIAL
<i>Conostegia micrantha</i> Standl.	MELASTOMATACEAE		NO COMERCIAL
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	BORAGINACEAE	HD	DESEABLES
<i>Cordia cymosa</i> (Donn. Sm.) Standl.	BORAGINACEAE		NO COMERCIAL
<i>Coussarea caroliana</i> Standl.	RUBIACEAE		
<i>Coussarea hondensis</i> (Standl.) Taylor & W.C. Burger	RUBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Croton billbergianus</i> Mull. Arg.	EUPHORBIACEAE	HE	NO COMERCIAL
<i>Croton schiedeanus</i> Schltld.	EUPHORBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Cupania glabra</i> Sw.	SAPINDACEAE		NO COMERCIAL
<i>Cupania</i> sp.	SAPINDACEAE		
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	ARALIACEAE	INT	ACEPTABLES
Desconocido	FLACOURTIACEAE		NO COMERCIAL
Desconocido	MELASTOMATACEAE		NO COMERCIAL
<i>Dichapetalum axillare</i> Woodson	DICHAPETALACEAE		NO COMERCIAL
<i>Drypetes standleyi</i> G. L. Webster	EUPHORBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Duguetia confusa</i> Maas	ANNONACEAE		
<i>Duguetia panamensis</i> Standl.	ANNONACEAE		
<i>Dussia macrophyllata</i> (Donn. Sm.) Harms	FABACEAE/PAP.		ACEPTABLES
<i>Dussia tessmannii</i> Harms	FABACEAE/PAP.		
<i>Erythrina cochleata</i> Standl.	FABACEAE/PAP.		
<i>Ficus colubrinae</i> Standl.	MORACEAE		NO COMERCIAL
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. ex	FABACEAE/PAP.		NO COMERCIAL
<i>Goethalsia meiantha</i> (Donn. Sm.) Burret	TILIACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Guarea bullata</i> Radlk.	MELIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Guarea glabra</i> Vahl	MELIACEAE		ACEPTABLES
<i>Guarea grandifolia</i> DC.	MELIACEAE		ACEPTABLES



**Cuadro 1.**Listado de especies dap  $\geq$  2,5 cm

ESPECIE	FAMILIA	GRUPO ECOLÓGICO	GRUPO COMERCIAL
<i>Guatteria aeruginosa</i> Standl.	ANNONACEAE		NO COMERCIAL
<i>Guatteria amplifolia</i> Triana & Planch.	ANNONACEAE		
<i>Guatteria diospyroides</i> Baill.	ANNONACEAE		NO COMERCIAL
<i>Guatteria sturbicopelo</i>	ANNONACEAE		
<i>Hampea appendiculata</i> (Donn. Sm.) Standl.	MALVACEAE	HE	NO COMERCIAL
<i>Hernandia didymantha</i> Donn. Sm.	HERNANDIACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Hernandia stenura</i> Standl.	HERNANDIACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Hippotis albiflora</i> H. Karst.	RUBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Homalium guianense</i> (Aubl.) Oken	FLACOURTIACEAE		
<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemao	EUPHORBIACEAE	HD	DESEABLES
<i>Hymenobium mesoamericanum</i> H.C. Lima	FABACEAE/PAP.	HD	VEDADA
<i>Ilex skutchii</i> Edwin ex W.J. Hahn	AQUIFOLIACEAE		ACEPTABLES
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	FABACEAE/MIM.	HD	NO COMERCIAL
<i>Inga chocoensis</i> Killip ex T. S. Elias	FABACEAE/MIM.	HD	NO COMERCIAL
<i>Inga densiflora</i> Benth.	FABACEAE/MIM.	HD	NO COMERCIAL
<i>Inga edulis</i> Mart	FABACEAE/MIM.	HD	NO COMERCIAL
<i>Inga leicolycina</i> Benth.	FABACEAE/MIM.		
<i>Inga leiocalycina</i> Benth.	FABACEAE/MIM.	HD	ACEPTABLES
<i>Inga pezizifera</i> Benth.	FABACEAE/MIM.	HD	NO COMERCIAL
<i>Inga</i> sp.	FABACEAE/MIM.		
<i>Inga spectabilis</i> (Vahl) Willd.	FABACEAE/MIM.	HD	NO COMERCIAL
<i>Inga thibaudiana</i> DC.	FABACEAE/MIM.	HD	NO COMERCIAL
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don.	BIGNONIACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Jacaranda dolichaula</i>	BIGNONIACEAE		
<i>Lacunaria panamensis</i> (Standl.) Standl.	QUIINACEAE		NO COMERCIAL
<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler.	FLACOURTIACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Lecythis ampla</i> Miers	LECYTHIDACEAE	GEN	DESEABLES
<i>Licania</i> sp.	CHRYSOBALANACEAE		
<i>Licaria sarapiquensis</i> Hammel	LAURACEAE		NO COMERCIAL
<i>Lonchocarpus oliganthus</i> F.J. Herm.	FABACEAE/PAP.		NO COMERCIAL
<i>Maquira costaricana</i> (Standl.) C.C. Berg	BOMBACACEAE		NO COMERCIAL
<i>Maranthes panamensis</i> (Standl.) Prance & F. White	CHRYSOBALANACEAE	GEN	NO COMERCIAL
<i>Miconia</i> sp.	MELASTOMATAACEAE		
<i>Miconia affinis</i> DC.	MELASTOMATAACEAE		NO COMERCIAL
<i>Miconia argentea</i> (SW.) DC.	MELASTOMATAACEAE		NO COMERCIAL
<i>Miconia multispicata</i> Naudin	MELASTOMATAACEAE		NO COMERCIAL

**Cuadro 1.**Listado de especies dap  $\geq$  2,5 cm

ESPECIE	FAMILIA	GRUPO ECOLÓGICO	GRUPO COMERCIAL
<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	OLACACEAE	GEN	DESEABLES
<i>Naucleopsis naga</i> Pittier	MORACEAE		ACEPTABLES
<i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb.	LAURACEAE		NO COMERCIAL
<i>Ocotea atirrensis</i> Mez & Donn. Sm.	LAURACEAE		NO COMERCIAL
<i>Ocotea leucoxydon</i> (Sw.) Laness.	LAURACEAE		NO COMERCIAL
<i>Ocotea mollifolia</i> Mez & Pittier	LAURACEAE		NO COMERCIAL
<i>Ocotea valeriana</i> (Standl.) W. C. Burger	LAURACEAE		
<i>Ocotea veraguensis</i> (Meisn.) Mez	LAURACEAE		
<i>Otoba novogranatensis</i> Moldenke	MYRISTICACEAE	INT	ACEPTABLES
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	BOMBACACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Pentaclethra macroloba</i> (Willd.) Kuntze	FABACEAE/MIM.	GEN	ACEPTABLES
<i>Pera arborea</i> Mutis	EUPHORBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Persea americana</i> Mill.	LAURACEAE		NO COMERCIAL
<i>Pourouma bicolor</i> Mart.	CECROPIACEAE	INT	NO COMERCIAL
<i>Pourouma minor</i> Benoist	CECROPIACEAE	INT	NO COMERCIAL
<i>Pouteria</i> sp.	SAPOTACEAE		
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	SAPOTACEAE	GEN	NO COMERCIAL
<i>Protium glabrum</i> (Rose) Engl.	BURSERACEAE		
<i>Protium panamense</i> (Rose) I.M. Johnst.	BURSERACEAE		NO COMERCIAL
<i>Pseudobombax septenatum</i> (Jacq.) Dugand	BOMBACACEAE		
<i>Psidium guajava</i> L.	MYRTACEAE		
<i>Psychotria elata</i> (Sw.) Hammel	RUBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Psychotria panamensis</i> Standl.	RUBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Psychotria poeppigiana</i> Mull. Arg.	RUBIACEAE		
<i>Psychotria</i> sp.	RUBIACEAE		
<i>Pterocarpus rohrii</i> Vahl	FABACEAE/PAP.	HD	ACEPTABLES
<i>Pterocarpus</i> sp.	FABACEAE/PAP.		
<i>Quararibea bracteolosa</i> (Ducke) Cuatrec.	BOMBACACEAE		NO COMERCIAL
<i>Quararibea ochrocalyx</i> (K. Schum.) Vischer	BOMBACACEAE		NO COMERCIAL
<i>Quararibea parviflora</i> Lundell	BOMBACACEAE		
<i>Quararibea</i> sp.	BOMBACACEAE		
<i>Rauvolfia</i> sp.	APOCYNACEAE		
<i>Rauvolfia purpurascens</i> Standl.	APOCYNACEAE		NO COMERCIAL
<i>Rhodostemonodaphne kunthiana</i> (Nees) Rohwer	LAURACEAE		NO COMERCIAL
<i>Richeria obovata</i> (Mull. Arg.) Pax & K. Hoffm.	EUPHORBIACEAE		NO COMERCIAL

**Cuadro 1.**Listado de especies dap  $\geq 2,5$  cm

ESPECIE	FAMILIA	GRUPO ECOLÓGICO	GRUPO COMERCIAL
<i>Rinorea sylvatica</i> (Seem.) Kuntze	VIOLACEAE		
<i>Rollinia pittieri</i> Saff.	ANNONACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Rudgea cornifolia</i> (Kunth) Standl.	RUBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Ryania speciosa</i> Vahl	FLACOURTIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Sacoglottis trichogyna</i> Cuatrec.	HUMIRIACEAE	GEN	ACEPTABLES
<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	FABACEAE/MIM.		
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	SIMAROUBACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	ARECACEAE	PAL	PALMAS
<i>Solanum rugosum</i> Dunal	SOLANACEAE		NO COMERCIAL
<i>Sorocea pubivena</i> Hemsl.	MORACEAE		NO COMERCIAL
<i>Spondias radlkoferi</i> Donn. Sm.	ANACARDIACEAE	HD	NO COMERCIAL
<i>Stryphnodendron microstachyum</i> Poepp. & Endl.	FABACEAE/MIM.	HD	ACEPTABLES
<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	CLUSIACEAE		DESEABLES
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	BIGNONIACEAE		DESEABLES
<i>Tabernaemontana alba</i> Mill.	APOCYNACEAE		
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	ANACARDIACEAE	GEN	ACEPTABLES
<i>Tapirira mexicana</i> Marchand	ANACARDIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Tapura guianensis</i> Aubl.	DICHAPETALACEAE		NO COMERCIAL
<i>Trichilia septetrialis</i> C. DC.	MELIACEAE		
<i>Trichospermum grewiifolium</i> (A. Rich) Kosterm	TILIACEAE		
<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	MORACEAE		NO COMERCIAL
<i>Unonopsis</i> sp.	ANNONACEAE		
<i>Virola koschnyi</i> Warb.	MYRISTICACEAE	GEN	ACEPTABLES
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	MYRISTICACEAE	GEN	ACEPTABLES
<i>Vismia macrophylla</i> Kunth	CLUSIACEAE	HE	NO COMERCIAL
<i>Vismia</i> sp.	CLUSIACEAE		
<i>Vochysia allenii</i> Standl. & L. O. Williams	VOCHYSIACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Warszewiczia coccinea</i> (Vahl) Klotzsch	RUBIACEAE		NO COMERCIAL
<i>Welfia georgii</i> H. Wendl. ex Burret	ARECACEAE	PAL	PALMAS
<i>Xylopia sericophylla</i> Standl. & L.O. Williams	ANNONACEAE	HD	NO COMERCIAL
<i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl.	RUTACEAE	HD	ACEPTABLES
<i>Zygia grandifolia</i>	FABACEAE/MIM.		
<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose	FABACEAE/MIM.		

GEN: generalista, HD: heliófita durable, HE; VVV, INT: PAL: palma

## Cuadro 2.

Valores totales y promedios del número de familias, especies e individuos para distintos usos de la tierra en Río Frío, Costa Rica\*

Variable	Usos de la tierra			
	Bosques secundarios	Boques ribereños	Pasturas alta cobertura arbórea	Pasturas baja cobertura arbórea
No. familias	39	31	19	6
No. especies	91	90	25	9
No. individuos	396	677	52	32
No. promedio de familias por parcela	14 ± 0.8b	14 ± 1.34b	3.8 ± 0.7a	1.4 ± 0.6a
No. promedio de especies por parcela	18.8 ± 0.9b	23.3 ± 3.3b	4.13 ± 0.9a	1.5 ± 0.7a
No. promedio de individuos por parcela	49.5 ± 2.7b	84.5 ± 12.2c	6.5 ± 1a	4 ± 2.1a
Simpson	0.19 ± 0.02	0.26 ± 0.06	-	-
Shannon	2.26 ± 0.10	2.14 ± 0.06	-	-

\* Datos de 8 parcelas de 20 x 100 m para cada hábitat. Área total muestreada 1,6 ha por hábitat. Letras distintas en la misma fila muestran diferencias significativas según prueba de Duncan.

### Estructura arbórea

En cuanto a la estructura arbórea, en todos los usos de la tierra el mayor porcentaje de individuos promedio se concentró en las clases diamétricas menores a 40 cm de dap. Según el análisis de varianza, los bosques ribereños registraron un mayor número de individuos promedio en todas las clases diamétricas con respecto a los demás usos de la tierra (Fig. 3). Los bosques secundarios presentaron un mayor número de individuos promedio en las clases diamétricas 10-20 cm dap ( $F_{3,28}=27.23$ ,  $p<0.0001$ ) y >60 cm dap ( $F_{3,28}=5.95$ ,  $p=0.0029$ ).

### Descripción de los árboles con dap entre 2,5 y 10 cm

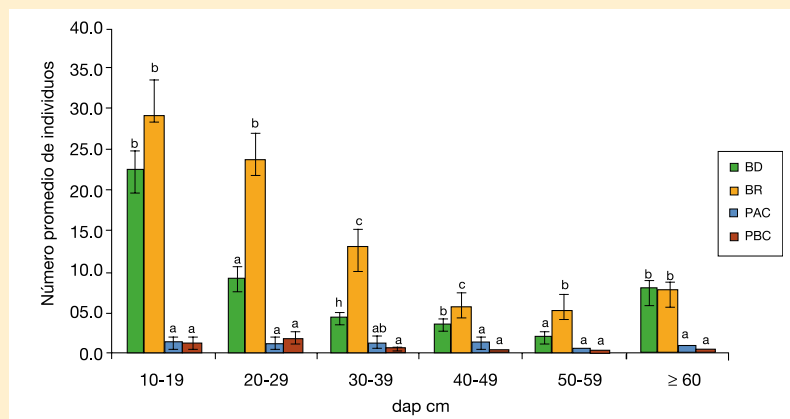
En total se determinaron 29 familias, 51 géneros, 69 especies y 171 individuos de árboles con dap <10 cm. Las familias más importantes según el número de especies fueron: Fabaceae/Mimocaceae y Annonaceae (6 especies), Moraceae (5) y Meliaceae (4). No se encontraron individuos en esta clase diamétrica en las pasturas con alta cobertura arbórea; en las pasturas de baja cobertura solo se registraron 3 individuos de tres especies diferentes (ver listado de especies en Cuadro 1). En los bosques secun-

darios intervenidos se encontraron 36 especies y 88 individuos. Según el IVI, diez de las 36 especies constituyeron el 60,6% de la estructura arbórea; *P. macroloba* y *C. arborea* fueron las especies más importantes. El restante 39,4% de la comunidad arbórea estuvo conformado por las 26 especies menos abundantes. En los bosques ribereños se encontraron 40 especies y 80 individuos; las dos

especie más importantes según el IVI fue *P. macroloba* y *C. arborea*.

### Depósitos de carbono en

biomasa arbórea con dap ≥10 cm  
Los árboles en las formaciones boscosas evaluadas contribuyen a la remoción de carbono atmosférico, aunque los aportes principales provienen de los bosques ribereños y bosques secundarios ( $F_{3,24}=23.75$ ,  $p<0.0001$ ,



**Figura 3.** Número promedio de individuos con dap ≥10 cm por clase diamétrica para los hábitats bosque secundario (BD), bosque ribereño (BR), pasto con alta densidad de cobertura arbórea (PAC) y pasto con baja densidad de cobertura arbórea (PBC), Río Frío, Costa Rica. Letras distintas entre usos de la tierra dentro del mismo rango diamétrico significan que son diferentes según Duncan.

**Cuadro 3.**

Valores relativos del total de individuos (I), área basal (G), frecuencia (F) e índice de valor de importancia (IVI) de las diez especies más importantes para los árboles con dap  $\geq 10$  cm en cada uno de los usos de la tierra evaluados, Río Frío, Costa Rica

Bosques secundarios						Bosques ribereños					
		%						%			
No.	Nombre de la especie	I	G	F	IVI	No.	Nombre de la especie	I	G	F	IVI
1	<i>Pentaclethra maculoba</i>	39,14	71,71	5,33	38,70	1	<i>Pentaclethra maculoba</i>	46,1	59,8	4,3	36,7
2	<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	4,55	4,82	2,67	4,00	2	<i>Goethalsia meiantha</i>	4,7	7,5	3,2	5,2
3	<i>Carapa guianensis</i>	3,03	4,02	2,67	3,20	3	<i>Zygia longifolia</i>	6,1	7,1	0,5	4,6
4	<i>Naucleopsis naga</i>	3,28	1,73	4,67	3,20	4	<i>Casearia arborea</i>	5,0	0,8	2,7	2,8
5	<i>Cecropia insignis</i>	1,52	0,54	3,33	1,80	5	<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	1,2	3,2	2,7	2,4
6	<i>Goethalsia meiantha</i>	1,77	0,66	2,67	1,70	6	<i>Pourouma bicolor</i>	2,2	1,1	3,2	2,2
7	<i>Casearia arborea</i>	2,78	0,31	2,00	1,70	7	<i>Rollinia pittieri</i>	1,5	1,7	3,2	2,1
8	<i>Pourouma bicolor</i>	1,52	0,22	3,33	1,70	8	<i>Croton schiedeana</i>	2,1	0,4	3,2	1,9
9	<i>Virola koschnyi</i>	1,01	1,20	2,67	1,60	9	<i>Virola koschnyi</i>	1,2	1,0	2,7	1,6
10	<i>Apeiba membranacea</i>	2,02	1,35	1,33	1,60	10	<i>Laetia procera</i>	1,8	0,9	2,2	1,6
Subtotal (10 especies)					59,2	Subtotal (10 especies)					61,1
Otras (81)					40,8	Otras (80)					38,9
Total (91)					100	Total (90)					100

Pasturas alta cobertura arbórea						Pasturas baja cobertura arbórea					
		%						%			
No.	Nombre de la especie	I	G	F	IVI	No.	Nombre de la especie	I	G	F	IVI
1	<i>Pentaclethra maculoba</i>	19,2	32,5	15,2	66,8	1	<i>Cordia alliodora</i>	53,1	30,1	33,3	38,9
2	<i>Carapa guianensis</i>	13,5	13,9	9,1	36,5	2	<i>Pentaclethra maculoba</i>	9,4	29,7	8,3	15,8
3	<i>Cordia alliodora</i>	9,6	5,2	3,0	17,9	3	<i>Psidium guajava</i>	18,8	5,0	8,3	10,7
4	<i>Ficus colubrinae</i>	3,8	7,5	3,0	14,4	4	<i>Inga edulis</i>	3,1	10,5	8,3	7,3
5	<i>Pseudobombax septenatum</i>	1,9	9,4	3,0	14,4	5	<i>Samanea saman</i>	3,1	9,6	8,3	7,0
6	<i>Minuartia guianensis</i>	3,8	4,2	6,1	14,1	6	<i>Rollinia pittieri</i>	3,1	8,6	8,3	6,7
7	<i>Inga edulis</i>	5,8	4,7	3,0	13,5	7	<i>Apeiba membranacea</i>	3,1	4,2	8,3	5,2
8	<i>Virola koschnyi</i>	3,8	6,5	3,0	13,3	8	<i>Desconocida</i>	3,1	1,1	8,3	4,2
9	<i>Zanthoxylum kellermanii</i>	3,8	2,7	6,1	12,6	9	<i>Gliricidia sepium</i>	3,1	1,1	8,3	4,2
10	<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	1,9	3,2	3,0	8,2	Total (9 especies)					100
Subtotal (10 especies)					70,6						
Otras (15)					29,4						
Total (25)					100						

n=1096). Los bosques ribereños presentaron mayores cantidades de carbono a nivel de parcela, ya que tienen mayor número de individuos que los bosques secundarios en todas las clases diamétricas evaluadas. A nivel del paisaje, los bosques secundarios y los bosques ribereños almacenaron mayores cantidades de carbono que las pasturas, esto a pesar de que las

pasturas poseían mayor área en el paisaje que los demás usos evaluados (Cuadro 4).

### Discusión y conclusiones

#### Caracterización arbórea

En el agropaisaje de Río Frío, los bosques secundarios y los bosques ribereños son usos de la tierra importantes para la conservación de la

biodiversidad debido a que poseen mayor número de especies arbóreas y mayor densidad de individuos por área que las pasturas. Las pasturas, por su parte, poseen un número bajo de especies en relación con los bosques. En los bosques secundarios y bosques ribereños resalta *P. maculoba* como especie dominante; en las pasturas, las especies

#### Cuadro 4.

Almacenamiento de carbono en distintos usos de la tierra a nivel de parcela y de paisaje, Río Frío, Costa Rica

Usos de la tierra	Total hectáreas en el paisaje*	% del paisaje	Carbono en biomasa (Mg C/ha)	Carbono en biomasa en el paisaje (Mg C)	% carbono en el paisaje
Bosque secundario	728,9	16,3	103,7b	75586,9	45,4
Bosque ribereños	371,7	8,3	188,4c	70028,3	42,0
Pastos baja cobertura arbórea (4.5% ≤ y ≤ 15%)	798,1	17,8	20,6a	16440,9	9,9
Pastos con alta cobertura arbórea (50% < y ≤ 75.4 %)	205,8	4,6	22,3a	4589,3	2,8
Sub-total	2104,5	47,0		166645,4	100,0
Otros	2379,5	53,0	-	-	-
Total	4483,9	100	-	-	-

\* Tomado de Chacón (2003)

dominantes fueron *P. maculosa*, *C. guianensis* y *C. alliodora*, especies de uso común entre los productores como sombra y madera.

Según los datos obtenidos y las observaciones realizadas en el campo, los bosques secundarios y los bosques ribereños en Río Frío se encuentran muy perturbados; esta situación es similar en bosques de otros agropaisajes como en Cañas, Costa Rica y Rivas y Matiguás, Nicaragua (Villanueva et ál. 2004, Sánchez et ál. 2005, 2006). A pesar del alto grado de perturbación, estos hábitats son importantes por el grado de diversidad, por lo que vale la pena conservarlos (Meffe y Carroll 1997, Guariguata y Kattan 2002). En los bosques secundarios de Río Frío se encontró un número promedio de especies arbóreas de 18,8 en 0,2 ha; en Rivas, este valor fue de 11,75 en parcelas de 0,1 ha. Estos valores parecen ser bajos en comparación con otros estudios en fragmentos de bosques primarios llevados a cabo cerca de la zona de Río Frío: 40,7 especies en parcelas de 0,2 ha (Forero 2001).

#### Importancia para la conservación de la diversidad arbórea

Algunos de los usos de la tierra presentes en el paisaje fragmentado de Río Frío son de importancia para la conservación de árboles fuera de

áreas protegidas. Los bosques secundarios y ribereños presentan similares características en cuanto a diversidad y composición de especies, lo cual les da el mismo nivel de importancia para la conservación de especies arbóreas. Las pasturas con alta y baja cobertura arbórea, si bien no presentaron la misma diversidad y composición arbórea que los bosques secundarios y ribereños, ayudan a la conservación de especies de árboles remanentes de bosques y a la regeneración natural

de especies (Esquivel y Calle 2002, Guevara et ál. 2005).

#### Almacenamiento de carbono

Los bosques ribereños y los bosques secundarios poseen una mayor cantidad de carbono almacenado en la biomasa de los árboles que las pasturas. Este patrón se debe a la mayor densidad arbórea en las áreas boscosas. A nivel de parcela, la cantidad de carbono almacenada en la biomasa arbórea es similar a



Algunos de los usos de la tierra presentes en el paisaje fragmentado de Río Frío son de importancia para la conservación de árboles fuera de áreas protegidas

Foto: CATIE.

la reportada en la literatura; esto evidencia la importancia de los agro-paisajes en Centroamérica para el almacenamiento y la remoción de carbono, aunque su aporte varía con el área en estudio. En Colombia, por ejemplo, Ibrahim et ál. (2007) encontraron niveles de almacenamiento de 158,73 Mg/ha en bosques ribereños y de 90,78 y 23,01 Mg/ha en bosques secundarios de Costa Rica y Nicaragua, respectivamente. Otros estudios en bosques húmedos han reportado valores de carbono entre 111,39 y 137,77 Mg/ha en Costa Rica (Segura 1999); entre 145,57 y 183,17 Mg/ha en Nicaragua (Lagos y Venegas 2003) y de 104,80 Mg/ha en Guatemala (Arrega 2003). Ruiz (2002), en un estudio en bosques secundarios de Nicaragua encontró valores de 17,55 Mg/ha.

A nivel del paisaje de Río Frío, los bosques secundarios y bosques ribereños siguen siendo los usos de la tierra que más aportan al almacenamiento de carbono. En el caso de las pasturas es posible incrementar sus contenidos de carbono aumentando la densidad de árboles por hectárea. La falta de información sobre carbono a nivel de paisaje no permite comparar los datos de este estudio con otros agropaisajes de Centroamérica (Zamora-López 2006).

### Implicaciones de este estudio

Este estudio respalda la tesis de que los paisajes fragmentados conformados por usos de la tierra con presencia de cobertura arbórea son importantes para la conservación de la biodiversidad, el almacenamiento de carbono y la remoción de carbono atmosférico. Cualquier plan de manejo de los paisajes con fines de conservación y reducción de los niveles actuales de carbono atmosférico deberá dar énfasis a: 1) la conservación de los bosques secundarios y bosques ribereños; 2) el mantenimiento o aumento de la densidad de árboles en las pasturas; 3) la incorporación de sistemas agroforestales,



Los paisajes fragmentados contribuyen con la remoción de carbono, siempre y cuando se les de un manejo adecuado

Foto: CATIE.

como cercas vivas o plantaciones forestales con pastoreo.

Los paisajes fragmentados contribuyen con la remoción de carbono, siempre y cuando se les de un manejo adecuado. Sin embargo, la presión de actividades humanas sobre los árboles y la falta de políticas para la conservación de la cobertura arbórea fuera de bosques pueden acelerar el deterioro de la biodiversidad, incluso dentro de áreas protegidas.

Políticas modernas de conservación de la biodiversidad y remoción de carbono (protocolo de Kioto y mecanismos de desarrollo limpio, por ejemplo) deberán asegurar la presencia de bosques remanentes, bosques secundarios y bosques ribereños dentro de las fincas. Además, deberán asegurar los árboles en las pasturas e incentivar el aumento de la densidad de árboles en pasturas mediante la regeneración natural y la siembra de árboles aislados o en cercas vivas. 🌱

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Bryan Finegan por su aporte como asesor de la tesis de maestría que dio origen a este estudio. A Patricia Hernández y Alexis Pérez, por el apoyo logístico y asistencia en el trabajo de campo; a Hugo Brenes por el manejo de bases de datos; a Mainor Mesén y Marco Otárola por su apoyo en la identificación botánica en el campo y al Maestro Luis Poveda y a Pablo Sánchez por el apoyo en la identificación de especies en el Herbario Juvenal Valerio de la Universidad Nacional. A Fernando Casanoves por la orientación en el análisis de los datos y a Héctor Fabio Messa por el apoyo en la selección de ecuaciones alométricas.

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables por la información incluida en este trabajo; en ninguna forma esta publicación representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen. Financiamiento adicional por FINNIDA.

## Literatura consultada

- Arreaga Gramajo, WE. 2002. Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, CR. 73 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Rome, IT. 55 p. (FAO Forestry Papers No. 134).
- Chacón, M. 2003. Cobertura arbórea y cercas vivas en un paisaje fragmentado, Río Frío, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.
- Cowell, RK. 1997. Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Connecticut, US, University of Connecticut.
- Curtis, JT; McIntosh, RP. 1950. The integration of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Ecology* 31:434-455.
- Esquivel, MJ; Calle, Z. 2002. Árboles aislados en potreros como catalizadores de la sucesión en la Cordillera Occidental Colombiana. *Revista Agroforestería en las Américas* 9(33):33-34.
- Forero, LA. 2001. Caracterización de la vegetación y efectos de borde en la comunidad de árboles y lianas de remanentes de bosque muy húmedo tropical región Huetar Norte, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.
- Fournier, LA; García, DEG. 1998. Nombres vernaculares y científicos de árboles de Costa Rica. San José, CR, Guayacán. 262 p.
- Guevara, S; Laborde, J; Sánchez-Ríos, G. 2005. Los árboles que la selva dejó atrás. *Interciencia* 30(10):595-601.
- Grupo INFOSTAT. 2003. Programa estadístico. Universidad de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Guariguata, MR; Kattan, GH. (ed.). 2002. Ecología y fragmentación de bosques tropicales. Cartago, CR, Ediciones LUR. 691 p.
- Harvey, CA. 2001. Agroforestería y biodiversidad. In Jiménez, F; Muschler, R; Höpsell, E. (ed.). Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, CR, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 95-136. (Serie de enseñanza no.46).
- Holdridge, LR. 1967. Life zone ecology. San José, CR, Centro Científico Tropical. 206 p.
- \_\_\_\_\_; Poveda, LJ. 1997. Árboles de Costa Rica. San José, CR, Centro Científico Tropical. 522 p.
- Ibrahim, M.; Chacón, M.; Cuartas, C.; Narango, J.; Ponce, G.; Vega, P.; Casasola, F.; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Summary for Policymakers formally approved at the 10th Session of Working Group I of the IPCC, Paris, February 2007]. 18 p.
- Jiménez, Q. 1999. Árboles maderables en peligro de extinción en Costa Rica. San José, CR, INBio / SIDA. 2 ed. 187 p.
- \_\_\_\_\_; Estrada, A; Rodríguez, A; Arroyo, P. 1999. Manual dendrológico de Costa Rica. Cartago, CR, ITCR-Centro de Investigación en Integración Bosque Industria. 150 p.
- Kattan, GH. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. In Guariguata, MR; Kattan, GH. (ed.). 2002. Ecología y fragmentación de bosques tropicales. Cartago, CR, Ediciones LUR.
- Lagos, O; Venegas, S. 2003. Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada, Río San Juan. Tesis de licenciatura. Managua, NI, Universidad Centroamericana, Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. 121 p.
- Lal, R; Kimble, J. 1998. Pedospheric processes and the carbon cycle. In Lal, R; Kimble, KM; Follett, RF; Stewart, BA. (eds.). Soil processes and the carbon cycle. USA, CRC Press. p. 1-8.
- Laurance, WF. 2001. Fragmentation and plant communities: synthesis and implications for landscape management. In Bierregaard Jr. B; Gascón, C; Lovejoy, TE; Mesquita, RCG. 2001. Lessons from Amazonia: the ecology and conservation of a fragmented forest. Yale University Press. USA. 478 p.
- Magurran, AE. 1988. Ecological diversity and measurement. Princeton University Press, USA.
- Meffe, GK; Carrol, CR. (eds.). 1997. Principles of conservation biology. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc. 729 p.
- Miranda, JM. 1991. Evaluación de gramíneas y leguminosas: establecimiento y producción en época máxima y mínima de precipitación en la zona de Río Frío. Tesis Ing. Agr. San José, CR, Universidad de Costa Rica. 95 p.
- Montagnini, F; Nair, PKR. 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.
- Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mg. Sc. Turrialba, CR, CATIE.
- Sánchez-Vindas, PE; Poveda Alvarez, LJ. 1997. Claves dendrológicas para la identificación de los principales árboles y palmas de la zona norte y atlántica de Costa Rica. Heredia, CR, UNA. Afiche
- Sánchez Merlos, D; Harvey, CA; Grijalva, A; Medina, M; Vilchez, S; Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 53(3-4):387-414.
- \_\_\_\_\_; Harvey, CA; Grijalva, A; Medina, M; Vilchez, S; Hernández, B. 2006. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un paisaje fragmentado de bosques seco en Costa Rica y Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente* 45:91-104.
- Saunders, DA; Hobbs, R; Margules, CR. 1991. Biological consequences of ecosystems fragmentation: A review. *Conservation Biology* 5(1):18-32.
- Schellhas, J; Greenberg, R. 1996. Forest patches in tropical landscapes. Washington, DC, US, Island Press. 409 p.
- Segura, MA. 1999. Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 115 p.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Esquivel, H. 2004. Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39):9-16.
- Zamora-López, S. 2006. Efecto de los pagos por servicios ambientales en la estructura, composición, conectividad y stock de carbono de un paisaje ganadero en Esparza, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.



# Identificación de bosques y sistemas agroforestales proveedores de servicios ecosistémicos para el sector agua potable en Nicaragua<sup>1</sup>

**Cliserio González H.<sup>2</sup>;**  
**Bruno Locatelli<sup>3</sup>; Pablo Imbach<sup>4</sup>;**  
**Raffaele Vignola<sup>5</sup>; Carlos J. Pérez<sup>6</sup>;**  
**Philippe Vaast<sup>7</sup>**

Los ecosistemas forestales proporcionan beneficios a las cuencas hidrográficas, tales como provisión de agua de calidad, reducción de caudales máximos e inundaciones, reducción de la variación de caudales máximos y mínimos a lo largo del año, estabilidad del suelo, prevención de la erosión en cárcavas y superficial y reducción de sedimentos aguas abajo.



Foto: Red Iberoamericana de Bosques Modelo.

<sup>1</sup> Basado en González Hernández, C. 2006. Identificación de bosques y sistemas agroforestales importantes proveedores de servicios ecosistémicos para el sector agua potable en Nicaragua. Tesis Mag. Sc.. Turrialba, CR, CATIE. 135 p.

<sup>2</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. clisero@catie.ac.cr

<sup>3</sup> CIRAD UPR Forest Resources, Montpellier, France. bruno.locatelli@cirad.fr; Grupo Cambio Global, CATIE

<sup>4</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. pimbach@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. rvignola@catie.ac.cr

<sup>6</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE.

<sup>7</sup> CIRAD UPR Forest Resources, Montpellier, France; Agroforestería, CATIE

## Resumen

El objetivo de este estudio fue identificar los bosques y sistemas agroforestales (SAF) que proveen servicios ecosistémicos (SE) importantes para reducir la vulnerabilidad del sector agua potable a los efectos del cambio climático en Nicaragua. Mediante las variables uso del suelo, capacidad de generar SE, beneficios obtenidos por los usuarios, ubicación de los usuarios e indicadores de vulnerabilidad en un contexto de cambio climático se generaron datos que, procesados mediante un modelo matemático y sistemas de información geográfica, permitieron identificar en un mapa los bosques y SAF prioritarios para el sector agua potable.

Los resultados muestran que los bosques y SAF importantes para el sector agua potable se encuentran localizados, en su mayoría, en las regiones Pacífico y Central. Únicamente el 20% de los bosques importantes se encuentran bajo el esquema de áreas protegidas. Estos resultados proporcionan elementos de análisis para la planificación del manejo adaptativo de estos ecosistemas forestales, de manera a reducir la vulnerabilidad del sector agua potable ante los efectos adversos del cambio climático.

**Palabras claves:** Bosques; sistemas agroforestales; ecosistema; cambio climático; agua potable; vulnerabilidad; factores de riesgo; servicios ambientales; Nicaragua.

## Summary

**Identification of forests and agroforestry systems important suppliers of ecosystems services important for the water potable sector in Nicaragua.** This study was aimed to identify the forests and agro-forestry systems (AFS) that provide important ecosystems services (ES) for vulnerability reduction to climate change in the potable water sector in Nicaragua. Forests areas and AFS important for the potable water sector were determined from data about land uses, their capacity to provide ES, benefits obtained by ES users, location of the users, and vulnerability indices in the context of climatic change. Data were processed by a mathematical model and a geographical information system. Results show that important forests and AFS are mainly located in the Pacific and Central regions and that only 20% of the important to very important forests are protected by the protected areas system. These results provide insights on the adaptive management measures for forests and AFS that would reduce the vulnerability of the potable water sector facing climate change.

**Keywords:** Forests; agroforestry systems; ecosystem; climate change; water potable; vulnerability; risk factors; ecosystems services; Nicaragua.

## Introducción

El agua es un factor esencial en el desarrollo de las naciones; probablemente este será el recurso que establecerá los límites del desarrollo sustentable, ya que además de ser importante para el desarrollo económico y social de la humanidad, lo es también para el funcionamiento de todos los ecosistemas. Por eso, la producción, conservación y distribución de agua para consumo humano, además de la capacidad de enfrentar situaciones extremas de

abundancia y escasez, son aspectos fundamentales a considerar en el desarrollo humano sostenible.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, en la actualidad existen 1100 millones de personas en el mundo sin acceso a agua limpia, de las cuales el 70% vive en condiciones de pobreza extrema (PNUD 2006). En Nicaragua -considerada como la segunda nación más pobre de Latinoamérica - la cobertura nacional de agua potable en el 2004 era del 75,8% a nivel nacional, aunque las zonas urbanas

son las que tienen mayor cobertura (95,1%), mientras que en las zonas rurales la cobertura es de tan solo 48,5%. Esta situación hace que sea en estas zonas donde se registre el índice de desarrollo humano más bajo a nivel nacional y la más alta tasa de mortalidad asociada a enfermedades de origen hídrico (CONAPAS 2005). El Fondo de Población de las Naciones Unidas, por su parte, reporta que el equilibrio entre la demanda de agua dulce para consumo humano y la cantidad de agua disponible a nivel

mundial está en riesgo dado que en los últimos 70 años la población se ha triplicado, pasando de 2000 millones a 6100 millones; además, el consumo de agua, incluyendo los usos agrícola e industrial, se han incrementado seis veces (FNUAP 2001).

Dao y Peduzzi (2004) afirman que el abastecimiento de agua en el futuro dependerá de los cambios en cantidades y estacionalidad de la precipitación local debido al cambio climático. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) menciona que en algunas partes del mundo, principalmente en las zonas áridas y semiáridas, el cambio climático incrementará la escasez de agua por las modificaciones en los regímenes de lluvia, incrementos en la evapotranspiración y escorrentía, incrementos en la frecuencia y duración de las sequías y pérdidas de glaciares (IPCC 2001).

Daily (1997) define a los servicios ecosistémicos (SE) como las condiciones y procesos mediante los cuales los ecosistemas naturales y las especies que lo forman, sostienen y satisfacen necesidades de la humanidad. Según el Millenium Ecosystem Assessment, el nexo entre los ecosistemas y la sociedad se ha intensificado en los últimos 50 años debido a la demanda creciente por alimentos, agua dulce, fibras, madera y combustible (MEA 2005); esta situación viene provocando la degradación de los recursos naturales y la reducción de los SE. De los 24 SE evaluados por el MEA, el 60% se encuentran degradados o no están siendo usados de manera sostenible; entre estos están los relacionados con el recurso hídrico (agua dulce y purificación del agua). Los ecosistemas proporcionan beneficios a las cuencas hidrográficas, tales como provisión de agua de calidad, reducción de caudales máximos e inundaciones, reducción de

la variación de caudales máximos y mínimos a lo largo del año, estabilidad del suelo, prevención de la erosión en cárcavas y superficial y reducción de sedimentos aguas abajo (FAO 2004).

Con base en las consideraciones anteriores, se consideró prioritario identificar los bosques y los servicios agroforestales (SAF), los cuales juegan un papel relevante en la provisión de SE hídricos para el sector agua potable en Nicaragua, en un contexto de cambio climático. Esta estrategia servirá de base para la planeación del manejo adaptativo de estos bosques, desde una perspectiva holística que considere a la sociedad como beneficiaria de los SE.

### Metodología

El esquema metodológico de este trabajo se fundamenta en la relación entre la sociedad y los bienes y servicios que prestan los ecosistemas, a partir de los diferentes usos del suelo y la capacidad de estos de generar SE de interés para un sector determinado de la sociedad. Como unidad espacial mínima de análisis se definió a la microcuenca. Con base en el mapa de microcuencas de Centroamérica (TNC 2005), en el territorio nicaragüense se identificaron 107.561 microcuencas con un área promedio de 1,3 km<sup>2</sup>.

Se definieron dos servicios ecosistémicos:

- Calidad de agua: definida como la capacidad del ecosistema de proveer agua con características físico-químicas que no representen riesgo para el consumo humano.
- Conservación de un caudal mínimo: definida como la capacidad del ecosistema de proveer una distribución constante del agua en la cuenca entre el periodo seco y lluvioso.

Como usuarios del sector agua potable se definieron tres tipos:

- Usuarios fuera de sistema: no están conectados a una red de

distribución de agua potable y generalmente no figuran en las estadísticas del sector agua potable.

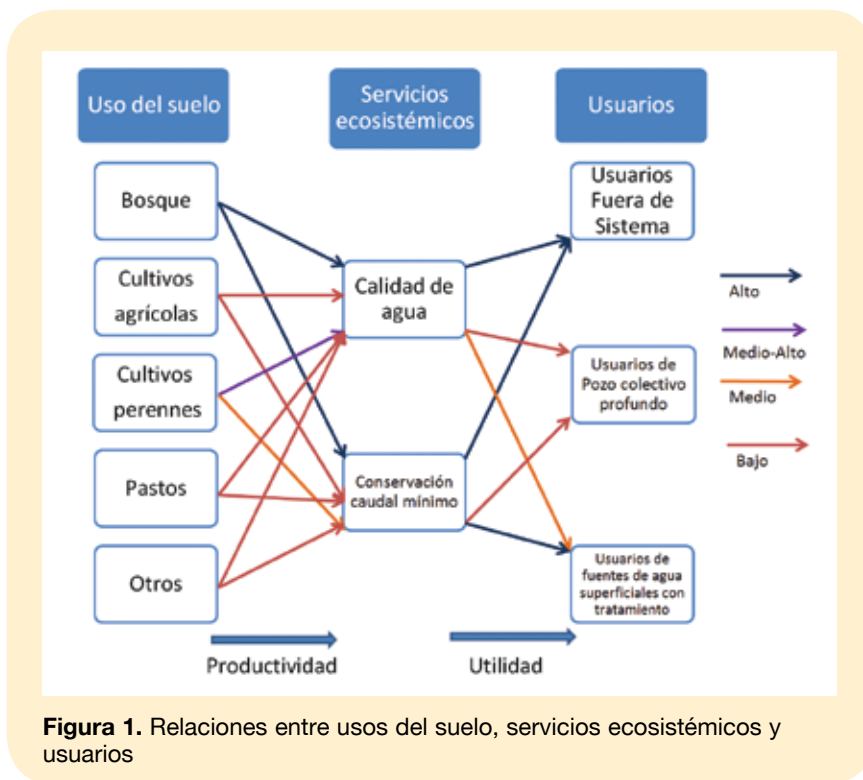
- Usuarios de sistema colectivo con pozo profundo: tienen acceso al servicio a través de una red de distribución de agua potable cuyo abastecimiento proviene de un pozo profundo.
- Usuarios de sistema colectivo de fuentes de agua superficiales: tienen acceso al servicio a través de una red de distribución de agua potable cuyo abastecimiento proviene de un cuerpo superficial de agua y está sujeta a un proceso de tratamiento.

Se usaron datos espaciales sobre los usuarios a nivel municipal, tales como estadísticas de población, producción, distribución, consumo y cobertura del servicio de agua potable (ENACAL et ál. 2005, INEC 2006). El conjunto de datos se desgregó a la unidad mínima de análisis (microcuenca) planteada para el estudio. Se definió un indicador de vulnerabilidad de los usuarios a nivel de microcuenca, compuesto por un indicador de sensibilidad y un indicador de capacidad adaptativa (IPCC 2001). La sensibilidad fue definida por un indicador de sensibilidad a problemas de calidad (porcentaje de usuarios fuera del sistema) y un indicador de sensibilidad a problemas de cantidad (disponibilidad de agua por habitante). La capacidad adaptativa fue definida por el índice de desarrollo humano municipal (PNUD 2005). Para homogenizar los indicadores, se hizo una estandarización lineal.

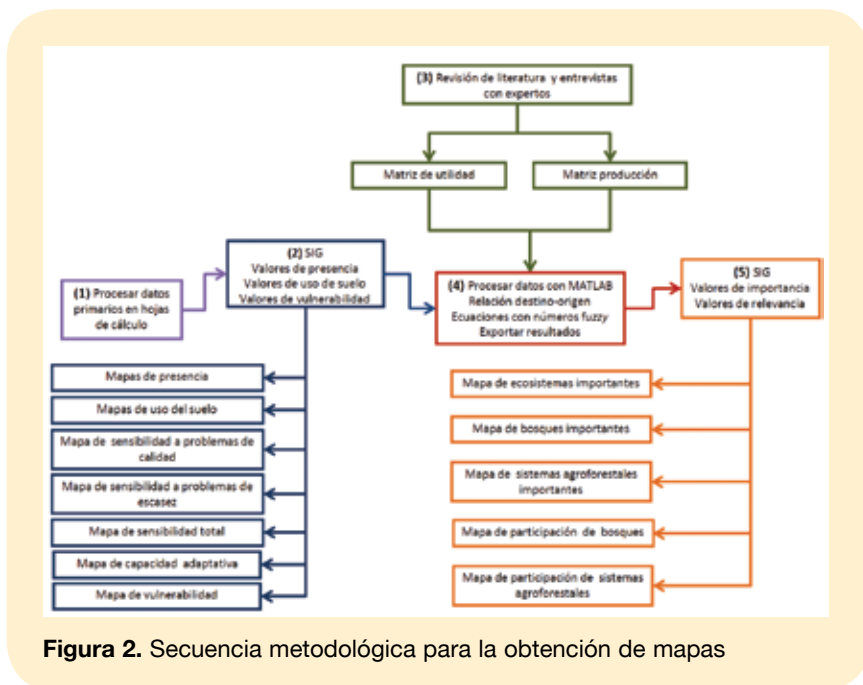
La utilidad que los usuarios obtienen de cada uno de los SE se definió mediante consulta con expertos y una revisión bibliográfica. Los usuarios que no tienen acceso al servicio de agua potable son los que obtienen una utilidad mayor de los SE 'calidad de agua' y 'conservación del caudal mínimo'. Los usuarios de pozo colectivo profundo dependen menos de los SE, ya que los procesos de infiltración del agua

hacia los mantos freáticos profundos *per se* proveen de agua limpia y con regularidad. Los usuarios de fuentes de agua superficiales con tratamiento reciben del SE ‘calidad de agua’ una utilidad media, ya que los problemas de calidad son parcialmente mitigados por el tratamiento previo; en cuanto a conservación del caudal mínimo, su utilidad es mayor ya que ellos dependen de la regularidad del caudal en el transcurso del año para abastecerse (Fig. 1).

Para reclasificar los usos de suelo se utilizó el mapa de uso actual del suelo (MARENA-SINIA 2003); se consideraron cinco usos: bosque, cultivos anuales, cultivos perennes, pastos y otros. La relación entre producción de SE y usos del suelo (Fig. 1, parte izquierda) se definió con base en una consulta a expertos y una revisión bibliográfica (Guo et ál. 2000, Rai y Sharma 1998, Bruijnzeel 1990 y 2004, Dissmeyer 2000, Enderlein y Bernardini 2005, Critchley et ál 1996, Kaimowitz 2004, Suarez de Castro 1980, Navar y Synnott 2000, Cheng et ál 2002, Allen y Chapman 2001, Gang-cai et ál 2004, Postel y Thompson 2005, Ong y Swallow 2003). Bruijnzeel (1990) afirma que los suelos forestales favorecen la infiltración del agua hacia el subsuelo y la recarga de los mantos acuíferos, lo que se puede asociar con la provisión de agua de calidad y regulación de flujos. Los suelos agrícolas, al igual que los pastizales, presentan menos evapotranspiración y extracción de agua, por lo que generalmente van a aportar más volumen de agua total a una cuenca. Los bosques, por el contrario, combinan una extensa superficie foliar, bajo albedo y poca resistencia al flujo de vapor, lo que permite una evapotranspiración alta (Giambelluca 2002). Los suelos agrícolas generalmente tienen niveles altos de escorrentía superficial, lo que resulta en poca recarga de acuíferos, contaminación de aguas superficiales por el



**Figura 1.** Relaciones entre usos del suelo, servicios ecosistémicos y usuarios



**Figura 2.** Secuencia metodológica para la obtención de mapas

uso de agroquímicos y altas tasa de erosión (Navar y Synnott 2000, Suarez de Castro 1980).

La metodología utilizada constó de dos etapas. La primera etapa hizo énfasis en los usuarios de los SE y asumió que la importancia de

los ecosistemas para la adaptación del sector agua potable es proporcional al beneficio que obtienen los usuarios de los SE (el beneficio es mayor para los usuarios más vulnerables). Por cada usuario, se estimó el beneficio definido por el producto

entre la vulnerabilidad del usuario y la utilidad que obtiene del SE. Posteriormente, para determinar el beneficio unitario se estimó la cantidad de SE recibidos por cada usuario de las cuencas aguas arriba. En la segunda etapa, se puso énfasis en los ecosistemas. Se asumió que la importancia de los ecosistemas para la adaptación del sector agua potable es proporcional a los beneficios recibidos en el lugar de destino y depende de tres factores: la cantidad de SE, la presencia de usuarios aguas abajo y el beneficio unitario de los SE que obtienen los usuarios en todas las microcuencas aguas abajo.

La secuencia de manejo de datos incluyó la incorporación de los datos primarios en un SIG para generar valores por microcuenca de presencia de usuarios, de usos del suelo y de vulnerabilidad, los cuales se incorporaron luego junto con los valores de las matrices de producción y utilidad y se procesaron en Matlab (Fig. 2). Se asignaron valores *fuzzy* a las expresiones cualitativas (Terano et ál. 1987). Después de los cálculos de importancia de los ecosistemas en cada microcuenca se clasificó la importancia de los bosques en cinco clases (muy alta, alta, media, baja, muy baja) de tamaños iguales más una clase nula. Los resultados se exportaron a un SIG para construir los mapas.

### Resultados y discusión

La cobertura nacional del servicio de agua potable se estimó en 72,1%, de la cual el 83,5% corresponde a usuarios de pozo profundo colectivo y el resto a usuarios de fuentes de agua superficial. Este resultado difiere de los publicados por el PND (2005) y la OMS (2004): 75,8 y 71%, respectivamente. Para 1998, Webster et ál. (2001) mencionaba una cobertura nacional del 63%, lo que representa un avance de nueve puntos porcentuales, aunque es claro que Nicaragua está lejos de cumplir lo establecido en los objetivos del milenio.

En la región Pacífico, los recursos hídricos superficiales son mínimos (FAO 2000, Webster et ál. 2001), por lo que el abastecimiento de agua potable está en función de las aguas subterráneas. Esto explica en parte la cantidad de usuarios de pozos colectivos profundos en la región. También hay que considerar que en esta región se ubica la mayor parte de la población del país (54%), las ciudades más grandes, la industria y la agricultura más desarrolladas, lo que conlleva a una mayor presión sobre el recurso hídrico subterráneo.

La región Atlántica presenta las deficiencias más marcadas en la cobertura del sector agua potable, a pesar de ser la zona con mayor disponibilidad de recursos hídricos. La baja densidad de población, la dispersión de los núcleos poblacionales y la falta de inversión en el sector agua potable dificultan la ampliación de la cobertura (CONAPAS 2005).

Los resultados muestran que, en términos generales, todos los departamentos del Pacífico son muy sensibles a la escasez de agua debido a la alta concentración poblacional y las

bajas precipitaciones. Estos resultados coinciden con INETER (2001), MARENA (2000) y Picado (2003) que reportan a la región Pacífico como de alta vulnerabilidad y susceptibilidad a la sequía meteorológica debido a la alta densidad de población y la poca disponibilidad del recurso agua. En la región Atlántica, los índices de sensibilidad a problemas de calidad de agua son altos, ya que la población tiene menos acceso a sistemas de tratamiento de agua. CONAPAS (2005) muestra que los mayores índices de enfermedades diarreicas agudas se dan en el Atlántico.

De acuerdo a los escenarios climáticos para el 2030, en la región Pacífico la vulnerabilidad actual y la disminución en la cantidad de lluvias incrementarán la vulnerabilidad por escasez de agua, seguida por la región Centro-Norte que aparece con vulnerabilidad moderada. La calidad del agua proveniente de los mantos freáticos disminuirá como consecuencia de la intensificación de la agricultura y el depósito de residuos domésticos (MARENA 2001). En la vertiente del Atlántico

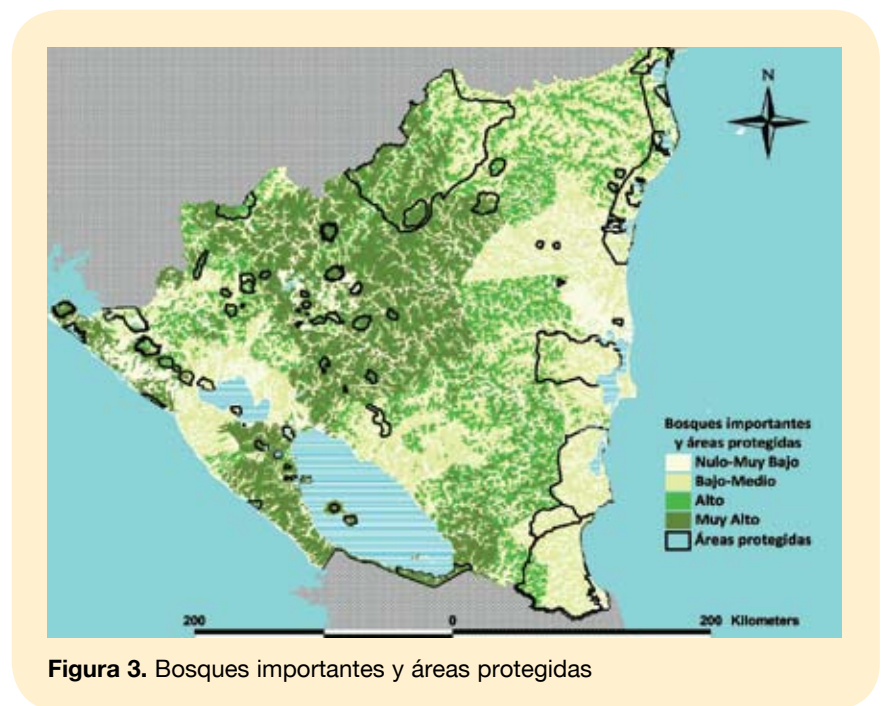


Figura 3. Bosques importantes y áreas protegidas

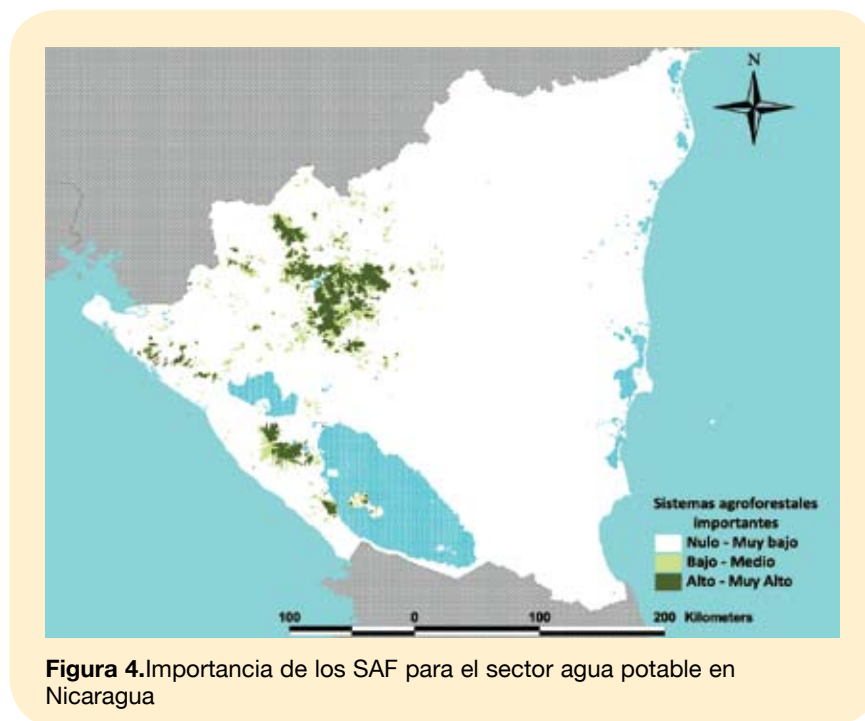
se localiza la mayor cantidad de bosques, pero los más importantes para el sector agua potable de Nicaragua son los de la vertiente Pacífico (Fig. 3). En las áreas donde la importancia de los ecosistemas es alta y muy alta, el bosque participa con el 46% de la provisión de SE; de hecho, este es el uso del suelo más importante en todo el país para el sector agua potable. En la región Pacífico, la alta presencia de usuarios que se benefician de los SE que prestan los bosques determina su importancia capital.

Los SAF - principalmente la producción de café - son importantes para el sector agua potable en áreas específicas de la región Centro-Norte y del Pacífico; en esas áreas, la provisión de servicios ecosistémicos depende de los SAF. El área de SAF identificada como de alta importancia cubre el 67% del total de los SAF (Fig. 4). Sin embargo, a nivel nacional las áreas importantes de SAF participan solamente con el 3,5% de la provisión de servicios ecosistémicos. De los bosques importantes o muy importantes para el sector agua potable, únicamente el 20% están bajo el esquema de áreas protegidas (Fig. 5). Esta situación pone en riesgo la permanencia de los bosques importantes para el sector agua potable, principalmente por el avance de la frontera agrícola y la tasa de deforestación en Nicaragua, estimada en 70 mil ha/año (FAO 2004).

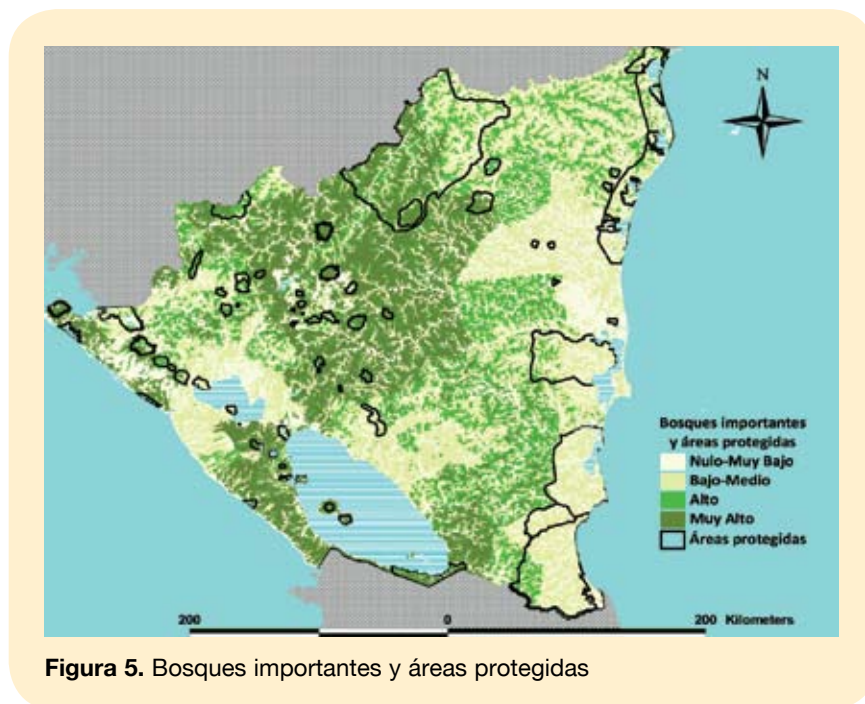
### Conclusiones

La región Pacífico tiende a ser la zona más vulnerable a problemas de calidad y cantidad de agua potable, por la conjunción de factores como alta densidad poblacional y baja precipitación.

La mayoría de los bosques importantes para el sector agua potable se ubican en las zonas de mayor densidad poblacional y vulnerabilidad alta, principalmente en cuencas de



**Figura 4.** Importancia de los SAF para el sector agua potable en Nicaragua



**Figura 5.** Bosques importantes y áreas protegidas

la región Pacífico. De no implementarse esquemas de manejo adaptativo de los bosques, estas cuencas sufrirán una fuerte presión por el recurso hídrico por parte de sectores industriales, agrícolas y los núcleos poblacionales.

Las áreas protegidas, por su baja cobertura, no juegan un papel importante en la conservación de los bosques importantes para el sector agua potable, ya que tan solo el 20% de estos se encuentran protegidos. 🌿

## Agradecimiento

Este documento fue elaborado en el marco del Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático (Trofcca), ejecutado por CATIE en América Central, a través del convenio suscrito entre CATIE y CIFOR en setiembre

del 2005. Trofcca recibe el apoyo financiero de la Comisión Europea mediante contrato No. EuropeAid/ENV/2004-81719. El contenido de este documento es responsabilidad de los autores y bajo ninguna circunstancia refleja la posición de la Unión Europea.

## Literatura citada

- Acreman, MC; Lahmann, E. 1995. Water management and protected area. *In* Acreman, MC; Lahmann, E. (Eds). *Managing Water Resources*. Parks Special Issue 5(2): 1-23.
- Allen, A; Chapman, D. 2001. Impacts of afforestation on groundwater resources and quality. *Hydrogeology Journal*. Vol. 9:390-400.
- Bruijnzeel, LA. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A state of knowledge review. Paris, FR, IHP-UNESCO Humid Tropical Programme.
- \_\_\_\_\_. 2004. "Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?" *in*: *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 104:185-228.
- Cheng, JD, Lin, LL; Lu, HS. 2002. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. *Forest Ecology and Management* 165(1):11-28.
- CONAPAS (Comisión Nacional de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario). 2005. Estrategia sectorial de agua potable y saneamiento en Nicaragua (2005-2015). Managua, NI. 164 p.
- Critchley, WRS; Bruijnzeel, LA 1996. Hydrological Impacts of conversion of moist tropical forest to agriculture. UNESCO, París, FR. 50 p.
- Daily, GC. 1997. Introduction: What are ecosystem services? *In* Daily, GC. (Ed.). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC, Island Press. p. 1-10.
- Dao, H; Peduzzi, P. 2004. Global evaluation of human risk and vulnerability to natural hazards. *Environfo* 2004 Vol. I: 435-446.
- Dissmeyer, GE. 2000. *Drinking Water from Forests and Grasslands A Synthesis of the Scientific Literature*. USDA Forest Service Southern Research Station, US. 250 p. (General Technical Report SRS-39).
- Enderlein, R; Bernardini, F. 2005. Nature for water: Ecosystem services and water management . *Natural Resources Forum* Vol. 29:253-255.
- FAO. 2000. *Informes sobre temas hídricos. El riego en América Latina y el Caribe en cifras*. Roma, IT. 365 p.
- \_\_\_\_\_. 2004. *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020*. Informe Nacional Nicaragua. Roma, IT. 104 p.
- \_\_\_\_\_. 2004. *Payment schemes for environmental services in watershed*. Regional forum. Roma, IT. 95 p.
- FNUAP (Fondo de Población de las Naciones Unidas). 2001. *El estado de la población 2001: huellas e hitos, población y cambio del medio ambiente*. New York, US. 75 p.
- Gang-Cai, L; Guang-Long, T; Dong-Cai S; San-Yi, L; Shu-Zhen, L. 2004. Streamflow and Soil Moisture of Agroforestry and Grass Watersheds in Hilly Area. *Pedosphere* 14(2):263-268.
- Giambelluca, T. 2002 Hydrology of altered tropical forest. *Hydrological Processes* 16(8): 1665-1669.
- Guo, Z; Xiao, X; Lj, D. 2000. An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecological Application* 10(3):925-936.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2006. VIII Censo de Población y IV de Vivienda. Managua, NI. 220 p.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2001. *Amenazas Naturales de Nicaragua*. Managua, NI. 288 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for Policymakers*. Cambridge University Press, New York, US. 18 p.
- Kaimowitz, D. 2004. Useful Myths and Intractable Truths: The Politics of the Link Between Forests and Water in Central America. *In* Bonell, M; Bruijnzeel, LA. (eds.). 2004. *Forests, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management*. Cambridge University Press, New York, US. p. 86-98.
- MARENA (Ministerio de los Recursos Naturales, NI). 2000. *Escenarios Climáticos y Socioeconómicos de Nicaragua para el siglo XXI*. Managua, NI. 48 p.
- \_\_\_\_\_; SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental). 2003. *Estado del ambiente en Nicaragua. II Informe GEO*. Managua, NI. 189 p.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC, Island Press. 155 p.
- Navar, J; Synnott, JT. 2000. Surface runoff, soil erosion and land-use in North-eastern Mexico. *Terra* 18(3): 247-253.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2004. *Análisis sectorial del sector agua potable y saneamiento en Nicaragua. Resumen Ejecutivo*. Managua, NI. 31 p.
- Ong, C; Swallow, BM. 2003. *Water productivity in forestry and agroforestry*. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement* (eds J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden). Ciudad, País, Editorial. p. 218-228
- Picado, F. 2003. Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de los recursos hídricos de Nicaragua ante el cambio climático. *In* Segunda Feria del Agua de Centroamérica y El Caribe: "Encuentro Regional de Actores sobre la GIRH para el Desarrollo Sostenible" (2003, Ciudad de Panamá, PA) Ciudad de Panamá, PA, Agua para la Vida.
- PND. 2005. *Plan Nacional de Desarrollo 2005-2009*. Gobierno de la República de Nicaragua. Managua, NI. 187 p.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2005. *El Desarrollo Humano en Nicaragua 2005: ¿Las regiones autónomas de la Costa Caribe, ¿Nicaragua asume su diversidad?*. Managua, NI: 365 p.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2006. *Informe Anual: una alianza mundial para el desarrollo*. Nueva York, US, ONU. 134 p.
- Postel, S; Thompson, BH. 2005. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum* 29(2):98-108.
- Rai, SC; Sharma, E. 1998. Hydrology and nutrient flux in an agrarian watershed of the Sikkim Himalaya. *Journal of Soil and Water Conservation* 53(2):125-132.
- Suárez De Castro, F. 1980. *Conservación de suelos*. San José, CR, IICA. 315 p.
- Terano, T; Asai, K; Sugeno, M. 1987. *Fuzzy systems theory and its applications*. San Diego, CA, US, Ohmsha Ltd. 268 p.
- TNC (The Nature Conservancy). 2005. *Drenajes de Centroamérica, Geodatabase. versión 1.0. Región de Mesoamérica y Caribe*. Science Program, San José, CR.
- Webster, CT; Markley, B; Waite, L. 2001. *Evaluación de los recursos de agua en Nicaragua*. Alexandria, VA, Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. 137 p.

# Servicios ecosistémicos e hidroelectricidad en Nicaragua<sup>1</sup>

**Efraín José Leguía Hidalgo<sup>2</sup>;**  
**Bruno Locatelli<sup>3</sup>; Pablo Imbach<sup>4</sup>;**  
**Francisco Alpizar<sup>5</sup>; Raffaele Vignola<sup>6</sup>;**  
**Carlos Pérez<sup>7</sup>**

La identificación de ecosistemas forestales que proveen servicios ecosistémicos para las centrales hidroeléctricas es una herramienta de diálogo importante para la implementación de planes de manejo adaptativo con la finalidad de garantizar el flujo continuo de tales servicios y así contribuir con la adaptación del sector hidroenergético a los posibles impactos del cambio climático. Asimismo es una herramienta útil para planificar esquemas de pagos por servicios ecosistémicos.



Foto: Red Iberoamericana de Bosques Modelo.

<sup>1</sup> Basado en Leguía, E. 2007. Identificación de bosques importantes proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 95 p.

<sup>2</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE.

<sup>3</sup> CIRAD UPR Forest Resources, Montpellier, France. bruno.locatelli@cirad.fr; Grupo Cambio Global, CATIE

<sup>4</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. pimbach@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Grupo Bienes y Servicios Ambientales, CATIE. falpizar@catie.ac.cr

<sup>6</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. rvignola@catie.ac.cr

<sup>7</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE.



## Resumen

Los bosques producen servicios ecosistémicos (SE) importantes para la generación de energía hidroeléctrica. El presente trabajo tiene como objetivo identificar bosques proveedores de SE importantes para la generación de electricidad en Nicaragua, donde se está promoviendo la implementación de centrales hidroeléctricas. Con este fin, se desarrolló un modelo que procesa datos sobre criterios de vulnerabilidad, ubicación y capacidad instalada proyectada (MW) de las centrales hidroeléctricas, usos del suelo y relación entre ecosistemas, servicios ecosistémicos y centrales. Las áreas aguas arriba de las centrales son muy sensibles a eventos climáticos, por lo que hay necesidad de reducir la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico; por ejemplo, con un mejor manejo de las cuencas y ecosistemas forestales. Aproximadamente 8300 km<sup>2</sup> de bosques y 1425 km<sup>2</sup> de cultivos perennes ubicados aguas arriba de centrales se consideran como de alta importancia para la generación de hidroelectricidad. Menos del 10% de los bosques identificados como importantes se encuentran dentro de áreas protegidas. Los resultados evidenciaron la necesidad de vincular a los usuarios de los SE con los bosques para mejorar la capacidad adaptativa de las zonas de interés y asegurar el flujo de SE a futuro.

**Palabras claves:** Bosques; servicios ambientales; energía eléctrica; generación de energía; proyectos hidroeléctricos; vulnerabilidad; factores de riesgo; Nicaragua.

## Summary

**Ecosystems services and hydroelectric in Nicaragua.** The objective of this work was to identify forests that provide ES for the hydroelectric sector in Nicaragua, where the implementation of hydropower plants is getting stronger. The methodological framework considers vulnerability criteria at the watershed level, location and future power potential (MW) of hydroelectric plants, as well as land uses and their capacity to produce ES. The areas located in the upper watersheds of relevant hydroelectric projects are very sensible to climatic events; that gives evidence of the need to reduce hydropower sector's vulnerability, for example, through a better watershed and forest ecosystems management. Approximately 8,300 km<sup>2</sup> of forest ecosystems and 1,425 km<sup>2</sup> of perennial crops located in upper watersheds are considered of high and very high importance for hydroelectric power projects or plants. Additionally, less than 10% of forest ecosystems providing ES for hydroelectricity are within protected areas. The results confirm the need for ES users to get involved in forest management to improve the adaptive capacity in important areas to guarantee the ES flow in the future.

**Keywords:** Forests; environmental services; electricity; power generation; hydroelectric projects; vulnerability; risk factors; Nicaragua.

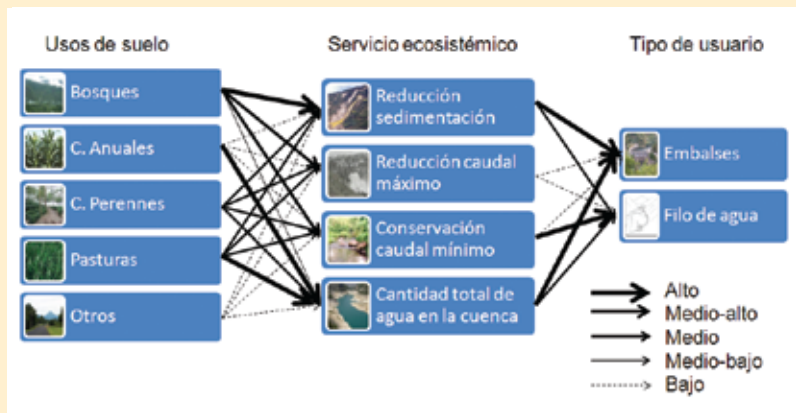
## Introducción

Los ecosistemas brindan a la sociedad un conjunto de servicios, y su capacidad de producirlos depende de complejas interacciones biológicas, químicas y físicas que, a la vez, se ven afectadas por actividades humanas (Daily et ál. 1997, Coomes y Burt 2001, MEA 2005). El crecimiento poblacional y las políticas nacionales de promoción de actividades productivas,

las tendencias de mercados y más recientemente, el cambio climático han resultado en la degradación de recursos en varias zonas a nivel mundial (Coomes y Burt 2001, IPCC 2001b).

El desarrollo del sector energético es clave para el progreso de un país, principalmente de aquellos en vías de desarrollo (Klimpt et ál. 2002, Keong 2005, Yuksek et ál. 2006). Entre los recursos renova-

bles, el agua es la fuente más usada para generar energía y es una alternativa a la utilización de combustibles fósiles (Frey y Linke 2002, Paish 2002, Reddy et ál. 2006). Nicaragua, que actualmente solo aprovecha el 2% de su potencial hidroeléctrico, está promoviendo la implementación de proyectos hidroeléctricos de pequeña, mediana y alta capacidad (CEPAL 2006, Gob. de Nicaragua 2003).



**Figura 1.** Vínculos entre usos del suelo, servicios ecosistémicos y centrales hidroeléctricas  
 Fuente: Leguía 2007

Los servicios ecosistémicos hídricos de los bosques tropicales, tales como la reducción de la sedimentación, la reducción de caudales máximos, la conservación de caudales mínimos y del volumen total de agua contribuyen a la sostenibilidad del sector hidroeléctrico (Guo et ál. 2000, Vincenzi 2001). En Centroamérica, los ecosistemas forestales juegan un rol importante en la provisión de servicios ecosistémicos hídricos vitales para el sector hidroenergético; sin embargo, la naturaleza y la magnitud de este aporte es aun poco claro (Bruijnzeel et ál. 2004).

En la Fig. 1 se muestran los vínculos entre usos del suelo, servicios ecosistémicos (SE) y usuarios. Los bosques juegan un papel importante en la reducción de la erosión, ya que protegen los suelos de precipitaciones fuertes y mantienen su estabilidad mejor que los cultivos perennes y las pasturas, los que a su vez son mejores que los cultivos anuales (Vincenzi 2001, Pagiola 2002). Existe incertidumbre en cuanto a la regulación de caudales máximos y mínimos. Tanto los cultivos anuales como las pasturas tienen influencia positiva en la cantidad de agua total en la

Los bosques juegan un papel importante en la reducción de la erosión, ya que protegen los suelos de precipitaciones fuertes y mantienen su estabilidad mejor que los cultivos perennes y las pasturas, los que a su vez son mejores que los cultivos anuales.

cuencia debido a que sus niveles de evapotranspiración y extracción de agua de subsuelo son bajos en comparación con los bosques (Bruijnzeel et ál. 2004, Bruijnzeel 2004).

Distintos tipos de usuarios valoran de manera diferenciada los SE. Para los embalses, la producción de energía y los costos de mantenimiento dependen altamente de la cantidad total anual de agua y de la reducción de sedimentos (Vincenzi 2001). Para las plantas hidroeléctricas a filo de agua, la regulación de caudales mínimos es de alta importancia dado que en época seca la

probabilidad de contar con caudales inferiores al caudal de diseño es alta (CNE 2004b).

El cambio climático podrá aumentar la vulnerabilidad del sector hidroenergético mediante la alteración del patrón de precipitaciones o a través de eventos extremos como inundaciones o deslizamientos que pueden ocasionar severos daños en instalaciones (IPCC 2001a). En un contexto de cambio climático, los SE contribuyen a reducir la vulnerabilidad del sector hidroenergético (MEA 2005, Metzger et ál. 2006). La presión sobre los ecosistemas forestales, ya sea por factores socioeconómicos o debido al cambio climático, tendrá un impacto sobre los SE críticos para el sector hidroeléctrico (Metzger et ál. 2006). El presente trabajo de investigación se estableció con el objetivo de generar una metodología que permita identificar bosques proveedores de SE importantes para la adaptación del sector hidroenergético en Nicaragua.

### Metodología

El marco metodológico enfatiza los vínculos que existen entre los diferentes usos del suelo, principalmente los bosques y su capacidad de producir SE hídricos importantes para la generación de energía eléctrica (Fig. 1). La metodología se basa en los trabajos sobre transferencia de beneficios (Troy et ál. 2006), y es aplicable a cualquier servicio ecosistémico no rival; es decir, aquel cuyo uso no reduce la disponibilidad del servicio para el uso de otros actores.

La investigación estudió todo el territorio nicaraguense con una división en microcuencas de 1,2 km<sup>2</sup> de área en promedio, con base en el mapa de drenaje de TNC (2007). Se definieron dos tipos de usuarios de los SE: centrales con embalses (34) y centrales a filo de agua (9)<sup>5</sup>. Estos datos se obtuvieron de

<sup>5</sup> En realidad solo las centrales Santa Bárbara y Centroamérica están en funcionamiento. Sin embargo, se analizó la importancia de los SE para los 41 centrales restantes en proyecto o en construcción (ver listado en Leguía 2007).

publicaciones y reportes de la CNE (2004a,b, 2005a,b,c), Ingeniería y Ciencia Ambiental S.L. (2006).

Para evaluar la vulnerabilidad de los usuarios se tomaron en cuenta criterios de sensibilidad y capacidad adaptativa a través de un índice construido por la amenaza a eventos climáticos menos la capacidad adaptativa (Adger et ál. 2003, IPCC 2001a). El índice de sensibilidad fue definido por amenazas a eventos climáticos (inundaciones, deslizamientos y sequías) reportadas en el estudio de amenazas naturales en Nicaragua (INETER 2001). El índice de capacidad adaptativa se definió por la presencia de un plan de manejo de cuencas, la presencia institucional y la organización local. Los diferentes índices de vulnerabilidad se estandarizaron linealmente.

Los ecosistemas se ubicaron con al mapa de uso actual del suelo de Nicaragua (MAGFOR-SINIA 2002). Las categorías de usos del suelo (*f*) usadas en este trabajo fueron: bosques, cultivos perennes, cultivos anuales, pasturas y otros usos del suelo (incluyen áreas urbanas, rocas, nubes, entre otras). Se consideraron cuatro SE; asimismo, se definieron las relaciones entre uso del suelo y producción de SE (parte izquierda de la Fig. 1) y las relaciones entre SE y usuarios (parte derecha de la Fig. 1). Estas relaciones se establecieron con base en revisión bibliográfica y consulta con expertos. Se definió la capacidad de los ecosistemas para producir SE con base en: Hodnett et ál. (1995), Sahin y Hall (1996), Fahey y Jackson (1997), Nandakumar y Mein (1997), Guo et ál. (2000), Bruijnzeel (2004), Bruijnzeel et ál. (2004), Vincenzi (2001) (Cuadro 1); para la utilidad de los SE para las centrales hidroeléctricas se usó Guo et ál. (2000), Vincenzi (2001), Klimpt (2002), CNE (2004a,b, 2005 a,b,c, 2006) (Cuadro 2).

La información fue procesada en dos etapas. En la primera se

**Cuadro 1.** Matriz de capacidad de los usos del suelo para producir SE

	Reducción de sedimentación	Regulación de caudales máximos	Regulación de caudales mínimos	Cantidad total de agua en la cuenca
Bosques	Alta	Media-Alta	Media-Alta	Media-baja
C. anuales	Baja	Baja	Baja	Alta
C. perennes	Media	Media	Media	Media
Pasturas	Media	Media	Media	Alta
Otros	Baja	Baja	Baja	Baja

Fuente: Leguía 2007

**Cuadro 2.** Matriz de utilidad de SE para las centrales hidroeléctricas

	Reducción de sedimentación	Regulación de caudales máximos	Regulación de caudales mínimos	Cantidad total de agua en la cuenca
Embalse	Alta	Baja	Baja	Alta
Filo de agua	Media	Baja	Alta	Media

Fuente: Leguía 2007

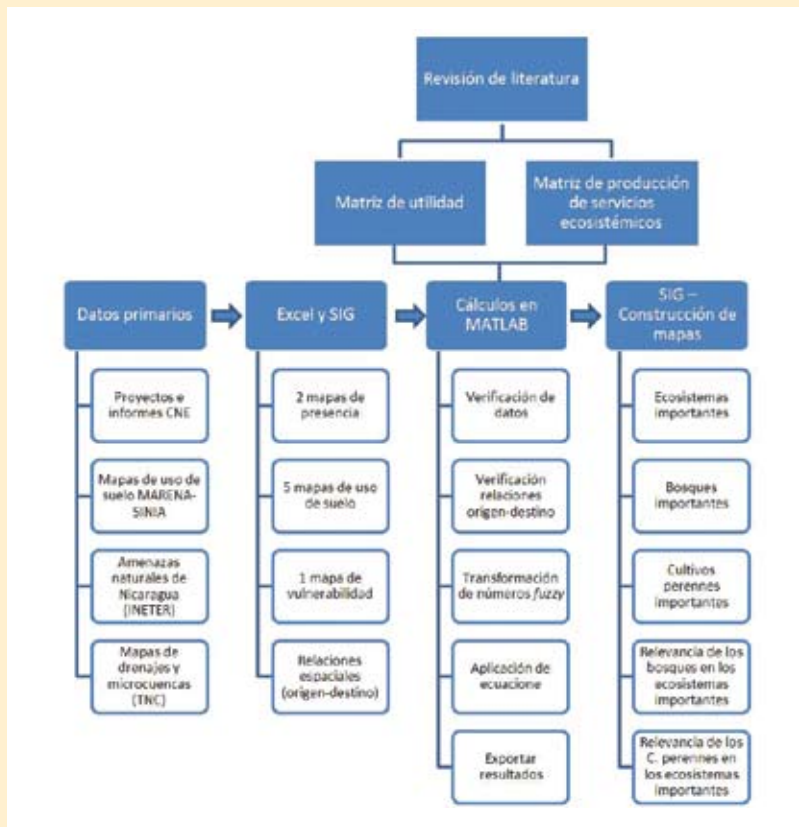


Foto: Red Iberoamericana de Bosques Modelo.

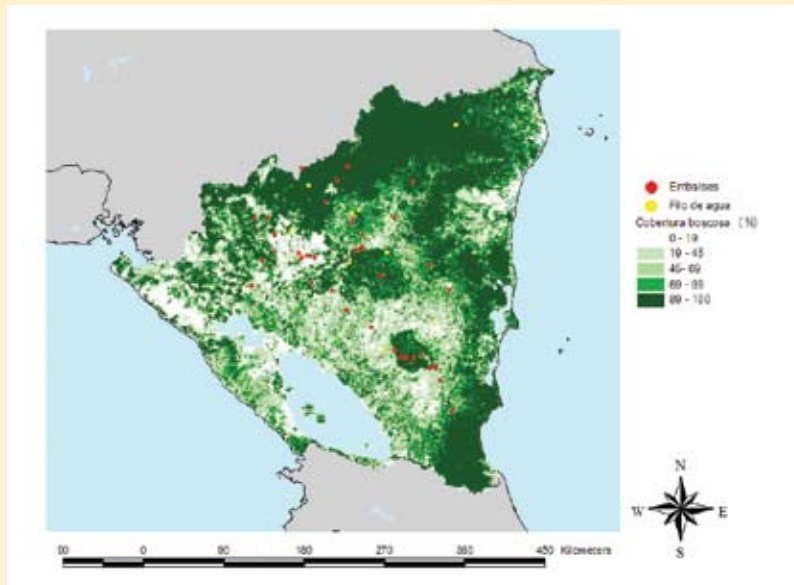
La presión sobre los ecosistemas forestales, ya sea por factores socioeconómicos o debido al cambio climático, tendrá un impacto sobre los SE críticos para el sector hidroeléctrico

hizo énfasis en los usuarios de los servicios ecosistémicos. Se asumió que la importancia de los ecosistemas para la adaptación del sector hidroenergético depende del beneficio que sacan los usuarios de los

SE y que este beneficio es más alto para usuarios más vulnerables. Para cada usuario se calculó el beneficio, definido como el producto de la vulnerabilidad del usuario y la utilidad que obtiene del servicio. Además se



**Figura 2.** Operatividad de la metodología  
Fuente: Leguía 2007



**Figura 3.** Cobertura forestal y ubicación de las centrales hidroeléctricas en Nicaragua  
Fuente: Leguía 2007

calculó la cantidad de SE recibidos de las cuencas aguas arriba para calcular el beneficio unitario. En la segunda etapa el énfasis se puso en los ecosistemas. Se asume que la importancia de los ecosistemas depende de tres factores: la cantidad de SE producidos, la presencia de usuarios en la unidad de destino y el beneficio unitario de cada SE para los usuarios en todas las microcuencas aguas abajo.

La información referente a variables de presencia de los tipos de usuarios, vulnerabilidad y áreas por categoría de uso del suelo se ordenó en formato SIG para exportar a MATLAB. También se exportaron las variables espaciales que permiten reconstruir los espacios aguas arriba y aguas debajo de cada microcuena. Se hicieron los cálculos de importancia de bosques usando MATLAB con los valores cualitativos de los cuadros 1 y 2 convertidos a números *fuzzy* (Chen y Hwang 1992, Stefaninia 2006). Luego de un proceso de “defuzzificación” los resultados se exportaron a SIG para construir los mapas (Fig. 2). Se definieron cinco clases de importancia de los bosques (muy alta, alta, media, baja, muy baja) más una clase nula.

### Resultados y discusión

#### Usos del suelo en las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas

Nicaragua proyecta construir 32 centrales hidroeléctricas tipo embalse. La capacidad prevista varía entre 2,5 MW y 300 MW. La central Santa Bárbara recibe SE de 17 cuencas aguas arriba (32 km<sup>2</sup>) que en su mayor parte son bosques (73%). La central Centroamérica se beneficia de 639 cuencas (876 km<sup>2</sup>) donde el bosque es el mayor uso del suelo (66%) seguido por los cultivos anuales (16%) (Fig. 3). Para las centrales hidroeléctricas a filo de agua, la capacidad instalada varía entre 0,18 MW y 7 MW. Salto Kepí es la central con mayor número de cuencas aguas

arriba (711) y es además la de mayor área total aguas arriba (778,9 km<sup>2</sup>). Los bosques predominan en las cuencas aguas arriba de estas centrales, a excepción de Salto Molejones, donde la mayor superficie está cubierta por pasturas (62%) (Fig. 3).

La superficie de ecosistemas de importancia alta o muy alta para la generación de hidroelectricidad en la vertiente del Atlántico es mucho mayor que el área identificada en la vertiente del Pacífico (21.336 km<sup>2</sup> contra 876,57 km<sup>2</sup>). La vertiente del Atlántico alberga el mayor número de centrales hidroeléctricas. Los bosques siguen siendo el uso de mayor importancia en ambas vertientes (64% en el Atlántico y 67% en el Pacífico); sin embargo, las pasturas son el segundo uso más importante en el Caribe (27%), mientras que en el Pacífico lo son los cultivos anuales (16%). Para los embalses, los bosques cubren un 59% de las microcuencas aguas arriba, seguido por las pasturas (28%), los cultivos perennes (8%) los cultivos anuales (3%) y otros usos de suelo (2%). Para las centrales tipo filo de agua, la cobertura de bosques se incrementa a un 80% (Fig. 4).

### Sensibilidad a eventos climáticos

Excluyendo los cuerpos de agua, el 17% de la superficie de Nicaragua se encuentra en zonas de alta a muy alta sensibilidad a eventos climáticos (21.470 km<sup>2</sup>). Este porcentaje se incrementa notablemente cuando se

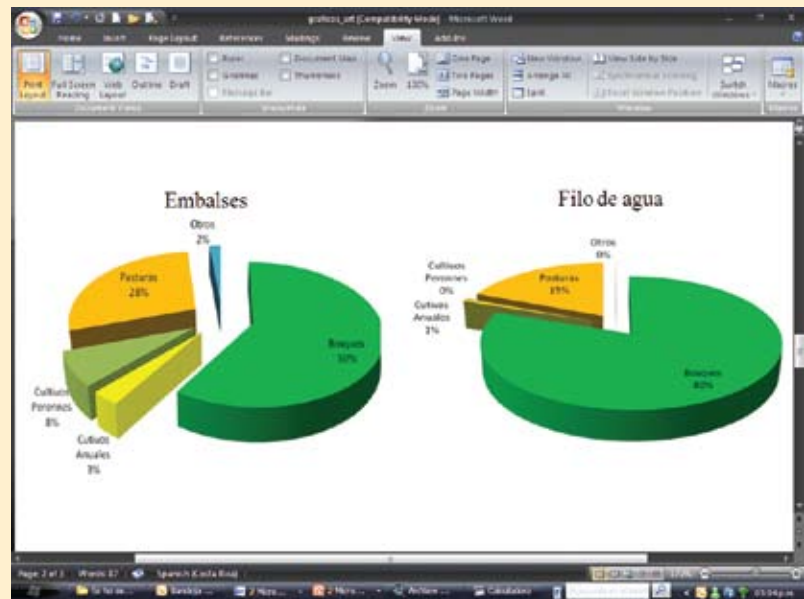
**Cuadro 3.**

Sensibilidad a eventos climáticos

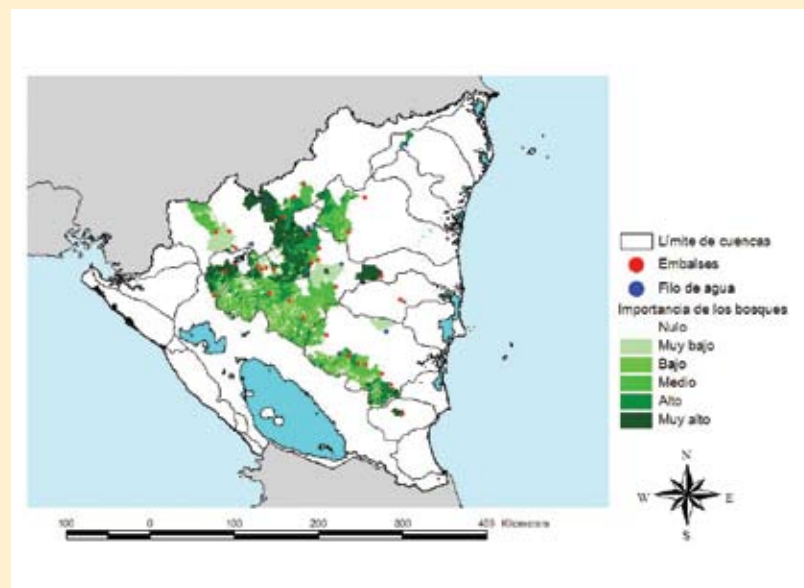
Sensibilidad	País %	Área arriba de centrales
Muy baja	2,4	23,8
Baja	5,1	17,7
Media	36,6	17,4
Alta	34,1	13,9
Muy alta	14,6	35,1

toma en cuenta solo la ubicación de las cuencas que están generando SE para las centrales hidroeléctricas: 35% de la superficie de las cuencas que generan SE se ubican en zonas de alta a muy alta sensibilidad

a eventos climáticos (Cuadro 3). Este hecho evidencia la necesidad de trabajar para reducir vulnerabilidad del sector hidroeléctrico, por ejemplo con un mejor manejo de las cuencas y ecosistemas forestales.



**Figura 4.** Usos del suelo aguas arriba de centrales con embalses en Nicaragua  
Fuente: Leguía 2007



**Figura 5.** Bosques importantes para las centrales hidroeléctricas  
Fuente: Leguía 2007



La gran mayoría de los bosques importantes para la adaptación del sector hidroenergético está desprotegidos

### Importancia de los bosques para las centrales hidroeléctricas

Los ecosistemas de importancia media a muy alta para las centrales hidroeléctricas representan el 10,4% de la superficie territorial de Nicaragua y están ubicados casi en su totalidad en la región atlántica, principalmente en las cuencas del Río Grande de Matagalpa (17 centrales, 866 MW) y del Río Coco (9 centrales, 298MW).

Aproximadamente 8300 km<sup>2</sup> de bosques se consideran como de alta a muy alta importancia para las centrales hidroeléctricas. Estos se encuentran distribuidos principalmente en 49 municipalidades; las que albergan mayores superficies son: Cúa-Bocay, Waslala, Wiwili de Jinotega, Nueva Guinea, Siuna y Matiguas, con áreas entre 537 km<sup>2</sup> y 1176 km<sup>2</sup>. La importancia de los bosques es determinada por la capacidad instalada de las centrales, la cobertura de bosques (porcentaje dentro de las microcuencas) y el área total de las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas. La dispersión de la capacidad instalada del

proyecto Copalar en más de 6800 km<sup>2</sup> de cuenca hace que los bosques muestren una importancia media. Ocurre lo contrario con el proyecto Tumarín cuya capacidad instalada se concentra en una pequeña cuenca donde los bosques se consideran muy importantes (Fig. 5).

La mayoría (89%) de los bosques de importancia media a muy alta para el sector hidroeléctrico se encuentran fuera de áreas protegidas. La superficie de bosques productores de SE de importancia media a muy alta que están dentro de áreas protegidas es de 1305 km<sup>2</sup>. Bosawas alberga la mayor extensión de bosques importantes para la hidroenergía (716 km<sup>2</sup>) y solo aquellos que se encuentren dentro de áreas protegidas mantendrán su cobertura según las proyecciones de deforestación de MAGFOR-SINIA (2002).

### Conclusiones

El sector hidroenergético en Nicaragua se concentra en zonas de sensibilidad alta a eventos climáticos; por lo tanto, las políticas nacionales de adaptación al cambio

climático deben incluir el sector hidroenergético de manera prioritaria. Los bosques importantes para el sector hidroenergético en Nicaragua se ubican, más que todo, en la zona central (cuenca del río Grande de Matagalpa) y norte (cuenca del río Coco) de la vertiente del Atlántico.

Gracias a su capacidad de generar servicios ecosistémicos, mayor cobertura y distribución dentro de las cuencas aguas arriba de las centrales hidroeléctricas, los bosques son más importantes para la adaptación del sector hidroenergético que los demás usos del suelo.

Existen bosques importantes para la adaptación del sector hidroenergético dentro de áreas protegidas; sin embargo, la gran mayoría de estos bosques están desprotegidos.

La identificación de ecosistemas forestales que proveen SE para las centrales hidroeléctricas es una herramienta de diálogo importante para la implementación de planes de manejo adaptativo con la finalidad de garantizar el flujo continuo de tales servicios y así contribuir con la adaptación del sector hidroenergético a los posibles impactos del cambio climático. Así mismo es una herramienta útil para planificar esquemas de pagos por servicios ecosistémicos (PSE). 🌱

Este documento ha sido elaborado en el marco de la ejecución del Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático –Trofcca-, ejecutado por CATIE en América Central, a través del convenio suscrito entre CATIE y CIFOR en septiembre del 2005. Trofcca recibe el apoyo financiero de la Comisión Europea mediante contrato No. EuropeAid/ENV/2004-81719. El contenido de este documento es responsabilidad de los autores y bajo ninguna circunstancia refleja la posición de la Unión Europea.

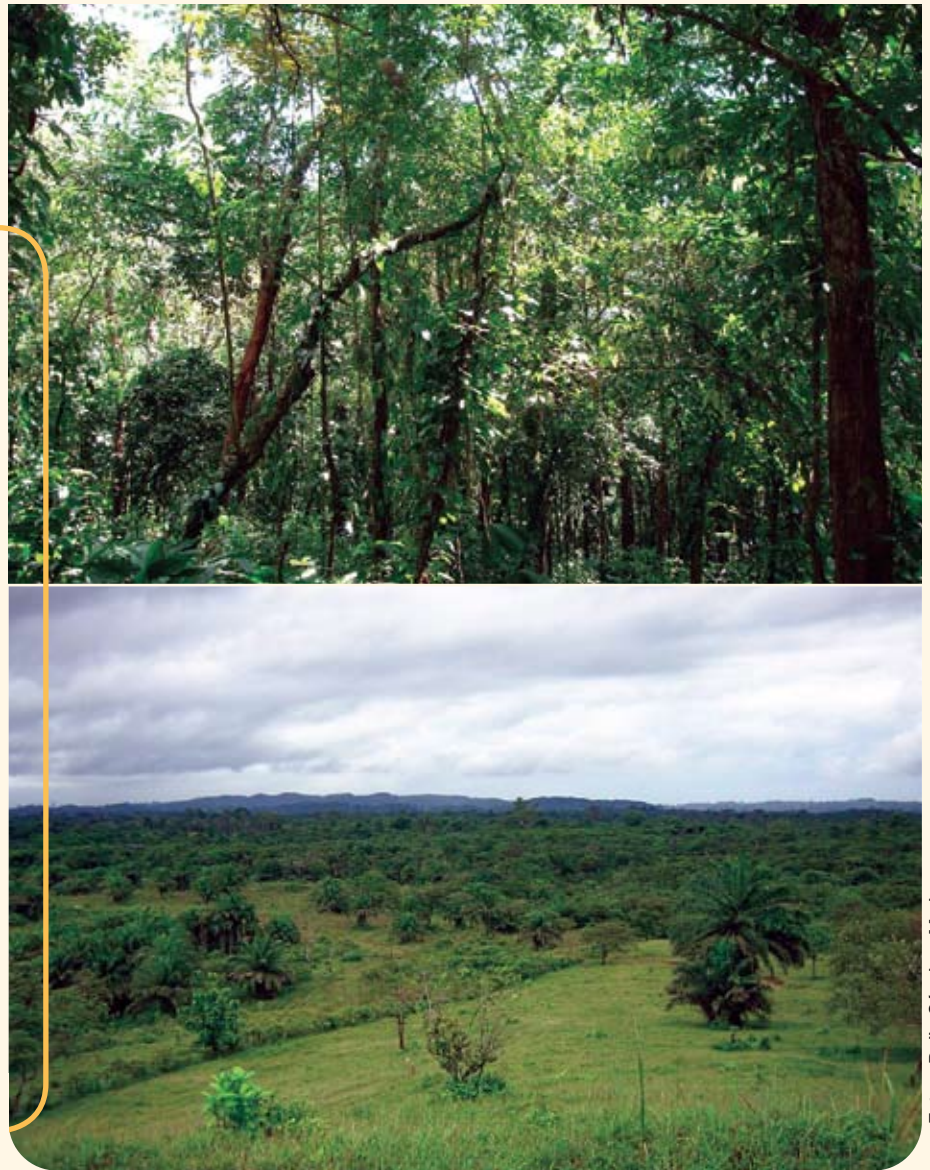
## Literatura citada

- Adger, N; Huq, S; Brown, K; Conway, D; Hulem, M. 2003. Adaptation to climate change in developing world. *Progress in Development Studies* 3(3):179-195.
- Bruijnzeel, L. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:185-228.
- Bruijnzeel, L; Calder, I; Vertessy, RA. 2004. Impacts of forest conversion on streamflow. *Hydrology Encyclopedia of Forest Sciences* (online). p 350-358. Available online: [www.elsevier.com/locate/](http://www.elsevier.com/locate/). doi:10.1016/B0-12-145160-7/00209-X.
- Chen, SJ; Hwang, CL. 1992. *Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag, Berlin, DE. 536 p.
- CEPAL. 2006. *Istmo centroamericano: estadísticas del subsector eléctrico. Informe preliminar del segmento de la producción de electricidad. (Datos actualizados a 2005)*. 37 p.
- CNE (Comisión Nacional de Energía, NI). 2004a. *Plan nacional para la electrificación rural en Nicaragua (PLANER) 2004-2013*. Managua NI.
- \_\_\_\_\_. 2004b. *Desarrollo de la hidroelectricidad a pequeña escala para usos productivos en zonas fuera de la Red. Formulación de estudios de factibilidad y diseños finales para la ejecución de 10 proyectos demostrativos de pequeñas centrales hidroeléctricas NIC10-000-14045-001*. Managua. NI.
- \_\_\_\_\_. 2005a. *Tres estudios de proyectos hidroeléctricos a nivel de pre-factibilidad. Centrales hidroeléctricas Boboké – Pajaritos – Valentín*. Managua. NI.
- \_\_\_\_\_. 2005b. *Nicaragua: Apoyo a la implementación de proyectos hidroeléctricos de 5 a 30 Mw. PNUD-CNE10/0000/14043*. Managua, NI. 20 p.
- \_\_\_\_\_. 2005c. *Plan indicativo de la generación del sector eléctrico. Periodo 2005-2016*. Managua. NI. 100 p.
- \_\_\_\_\_. 2006. *Plan estratégico para el sector eléctrico*. Managua, NI. 42 p.
- Coomes, O; Burt, G. 2001. Peasant charcoal production in the Peruvian Amazon: rainforest use and economic reliance. *Forest Ecology and Management* 140(1):39-50.
- Daily, GC; Alexander, S; Ehrlich, PR; Goulder, L; Lubchenco, J; Matson, PA; Mooney, HA; Postel, S; Schneider, SH; Tilman, D; Woodwell, GM. 1997. *Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. Issues in Ecology* No. 2:17.
- Fahey, B; Jackson, R. 1997. Hydrological impacts of converting native forest and grasslands to pine plantations, South Island, New Zealand. *Agricultural and Forestry Meteorology* 84:69-82.
- Frey, GW; Linke, DJ. 2002. Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way. *Energy Policy* 30:1261-1265.
- Guo, Z; Xiao, X; Li, D. 2000. An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecological Applications*10(3):925-936.
- Hodnett, MG. 1995. Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. *Journal of Hydrology* 170:233-254.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2001. *Amenazas naturales de Nicaragua*. Managua, NI. 310 p.
- Ingeniería y Ciencia Ambiental, S.L. 2006. *Estudio ambiental preliminar de los proyectos hidroeléctricos de Copalar y Tumarín (Nicaragua)*. Managua, NI, Energía, SA – HYDROCOPALAR, Ltd. 60 p.
- IPCC. 2001a. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. McCarthy, J. Canziani, O. Leary, A. Dokken, D. y S. White, K. Eds. Cambridge University Press, UK. 1000 p.
- IPCC. 2001b. *Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Houghton, J. Ding, Y. Griggs, D. Noguer, M. van der Linden, P. Xiaosu, D. Eds. Cambridge University Press, UK. 944 p.
- Keong, CY. 2005. Energy demand, economic growth, and energy efficiency –the Bakun dam-induced sustainable energy policy revisited. *Energy Policy* 33:679-689.
- Klimpt, JE; Rivero, C; Puranen, H; Koch, F. 2002. Recommendations for sustainable hydroelectric development. *Energy Policy* 30:1305-1312.
- Gobierno de Nicaragua. 2003. *Ley N° 467: Ley de promoción al subsector hidroeléctrico*. Managua, NI. La Gaceta no 19, setiembre.
- Leguia, E. 2007. *Identificación de bosques importantes proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 95 p.
- MAGFOR-SINIA. 2002. *Atlas Rural de Nicaragua*. Managua, NI. 1 CD.
- Metzer, MJ; Rounsevell, MDA; Acosta-Michlik, L; Leemans, R; Schröter, D. 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114:69-85.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington. DC., Island Press. 155 p.
- Nandakumar, N; Mein, RG. 1997. Uncertainty in rainfall-runoff model simulations and the implications for predicting the hydrologic effects of land-use change. *Journal of Hydrology* 192:211-232.
- Pagiola, S. 2002. Paying for water services in Central America: learning from Costa Rica. *In: Pagiola, S; Bishop, J; Landel-Mills, N. Selling forest environmental services. Market-based mechanisms for conservation and development*. London, UK, Earthscan Publications. p. 37-62.
- Paish, O. 2002. Small hydropower: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6:537-556.
- Reddy, RV; Uitto, JI; Frnas, DK; Matin, N. 2006. Achieving global environmental benefits through local development of clean energy? The case of small hilly hydel in India. *Energy Policy* 34:4069-4080.
- Sahin, V; Hall, MJ. 1996. The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology*178:293-309.
- Stefaninia, L; Sorinia, L; Guerra, ML. 2006. Parametric representation of fuzzy numbers and application to fuzzy calculus. *Fuzzy Sets and Systems* 157(18):2423-2455.
- TNC (The Nature Conservancy). 2007. *Drenajes de Centroamérica, Geodatabase. versión 1.0. Región de Mesoamérica y Caribe*. Science Program, San José, CR.
- Troy, A; Wilson, MA. 2006. Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics* 60:435-449.
- Vincenzi, J. 2001. Manejo de cuencas un nuevo desafío para el ICE. *Energía y Telecomunicaciones (CR)* 11(1):100-111.
- Yukse, O; Komurcu, MI; Yuksel, I; Kaygusuz, K. 2006. The rol of hydropower in meeting Turkey's electric energy demand. *Energy Policy* 34:3093-3103.

# Tipos de bosques en el sector sur del Corredor Biológico del Atlántico, Nicaragua<sup>1</sup>

Dalia Sánchez Merlos<sup>2</sup>; Bryan Finegan<sup>3</sup>;  
Celia A. Harvey<sup>4</sup>; Diego Delgado<sup>5</sup>

El estudio demuestra que existen por lo menos cuatro tipos de bosques en la zona, cada uno con su propia composición florística y asociado a diferentes condiciones de sustrato. Es obvio que mantener muestras representativas de estos cuatro tipos de bosques, tanto en las áreas protegidas, como a lo largo del corredor biológico del Atlántico, es una prioridad para asegurar la conservación de la diversidad florística de la zona a largo plazo.



Fotos: Dalia Sánchez Merlos.

<sup>1</sup> Basado en Sánchez M; D. 2006. Criterios ecológicos para la planificación de la conservación en un sector del Corredor Biológico del Atlántico de Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 122 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, CATIE. dsanchez@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Grupo Bosques, Áreas Protegidas y Biodiversidad, CATIE. bfinegan@catie.ac.cr

<sup>4</sup> charvey@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Grupo Bosques, Áreas Protegidas y Biodiversidad, CATIE. ddelgado@catie.ac.cr



## Resumen

A pesar de que los bosques del Atlántico de Nicaragua son los relictos más importantes del país y forman parte del Corredor Biológico Mesoamericano, estos no han sido bien caracterizados por lo que no se conoce qué comunidades y especies se están perdiendo por el avance de la frontera agrícola. Este estudio se realizó en el sector sur del Corredor Biológico del Atlántico de Nicaragua, con la finalidad de generar información sobre los tipos de bosques secundarios presentes en la región. Se establecieron 40 parcelas temporales de 0,25 ha para caracterizar los árboles y palmas  $\geq 10$  cm dap. A través de análisis multivariados se identificaron cuatro tipos de bosques, nombrados según las especies indicadoras: 1) Bosque de *Croton*, *Jacaranda* y *Pentaclethra*, 2) Bosque de *Vochysia*, *Xylopia* e *Hirtella*, 3) Bosque de *Dipteryx*, *Bactris* y *Coccoloba*, 4) Bosque de *Miconia*, *Mosquitoxylum* e *Inga*. Los análisis indican que la diversidad en estos bosques es parecida, aunque difieren en estructura y composición de especies y en el sustrato asociado. Para conservar la diversidad florística en esta región es importante asegurar que los cuatro tipos de bosques estén bien representados en el sistema de áreas protegidas y de corredores biológicos.

**Palabras claves:** Bosque tropical húmedo; composición botánica; biodiversidad; corredor biológico; Corredor Biológico del Atlántico de Nicaragua; Corredor Biológico Mesoamericano; Nicaragua.

## Summary

**Types of forests in the southern sector of Nicaragua's Atlantic Biological Corridor.** Although the Atlantic forests of Nicaragua are the most important relict forest in the country, and although they are part of the Mesoamerican Biological Corridor, these forests have not been characterized. So far, the communities and species being lost by the advance of the agricultural frontier in this region are unknown. The objective of this study was to generate information about the types of secondary forests present in the southern sector of Nicaragua's Atlantic Biological Corridor. Forty temporary 0.25 ha plots were established to characterize all trees and palms with dbh  $\geq 10$  cm. Using multivariate analyses, four types of forests were distinguished and named according to the indicator species: 1) *Croton*, *Jacaranda* y *Pentaclethra* forest, 2) *Vochysia*, *Xylopia* and *Hirtella* forest, 3) *Dipteryx*, *Bactris* and *Coccoloba* forest, and 4) *Miconia*, *Mosquitoxylum* and *Inga* forest. The analyses indicated that the four types of forests were equally diverse, but different in structure and species composition, as well as in associated type of soil. To conserve the floristic diversity in the region, it is important to ensure that all four types of forests are well represented in both the system of protected areas and biological corridors.

**Keywords:** Tropical wet forest; botanical composition; biodiversity; biological corridor; Biological Corridor of the Atlantic of Nicaragua; Mesoamerican Biological Corridor; Nicaragua.

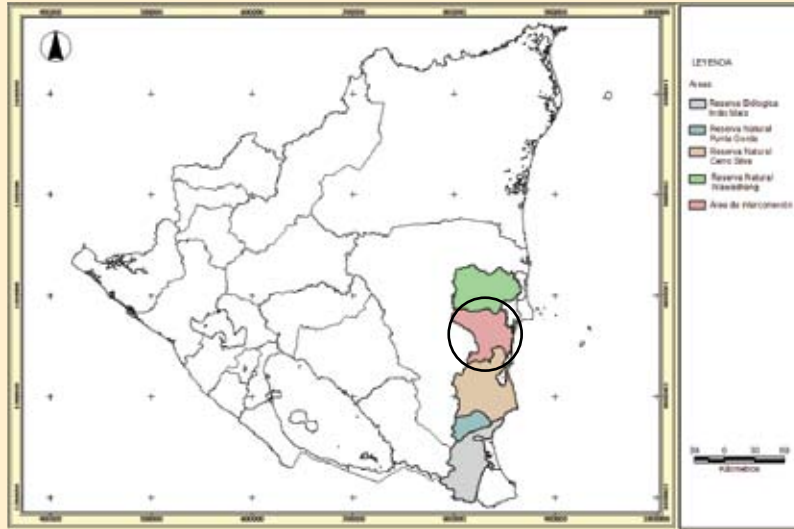
## Introducción

En las iniciativas integrales a escala de paisaje, la tipificación de bosques se ha convertido en una herramienta importante en las propuestas de conservación y planificación de corredores biológicos (Finegan et ál. 2001). Una tipificación detallada brinda información de cómo difieren los tipos de bosques en cuanto a riqueza, composición y estructura, y cómo diferentes tipos de bosques

pueden ser incorporados dentro de estrategias de conservación y/o restauración, según sus valores de biodiversidad (Hartshorn 2002).

La Costa Atlántica de Nicaragua es la ecorregión de bosques húmedos tropicales de bajura más extensa del país, la cual forma parte del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM). Sin embargo, la información sobre la composición florística y estructural de estos bosques es muy escasa e insuficiente para definir planes de

manejo y/o conservación. Por ello, es necesario trabajar en la tipificación de los bosques, de manera que esa información pueda ser aprovechada para los esfuerzos de conservación en la zona. Este estudio se centró en el Corredor Biológico del Atlántico (CBA) específicamente, con el fin de: 1) caracterizar los bosques presentes y determinar si existen tipos de bosques secundarios distintos y su relación con condiciones de sustrato (suelo y topografía); 2) comparar la



**Figura 1.** Ubicación de la red de áreas protegidas desde el límite sur hasta Wawashang. El óvalo encierra el área de interconexión donde se realizó el estudio. Cartografía digital por Geog. Christian Brenes.

diversidad, composición y estructura entre los diferentes tipos de bosques secundarios.

## Metodología

### El área de estudio

El estudio se realizó en el sector sur del CBA, en el área de interconexión entre las reservas naturales de Cerro Silva y Wawashang. Esta área cubre aproximadamente 1924,14 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Según la interpretación de una imagen de satélite Landsat TM del año 2002, el paisaje es un mosaico de charrales/tacotales (50,5%), fragmentos de bosque secundario (27,6%) y uso agropecuario (16,4%).

### Muestreos

*Selección de los fragmentos de bosque secundario y establecimiento de parcelas.*- Debido a que el paisaje está dominado por charrales/tacotales, por medio de conversaciones con pobladores y líderes de la zona de estudio, se definieron los siguientes criterios para seleccionar los fragmentos de bosque secundario y evitar la evaluación de vegetación pionera: a) bosques secundarios

de aproximadamente 17 años de edad; b) presencia de palmas grandes como indicadores de madurez y grado de perturbación; c) presencia de un sotobosque abierto, típico de condiciones de bosque maduro poco alterado; d) posibilidad de establecer dos parcelas de 0,25 ha como mínimo por fragmento con una distancia de 300 m entre parcelas. Los criterios para instalar las parcelas de muestreo temporal fueron: a) asegurar que las esquinas de las parcelas estuvieran ubicadas a una distancia no menor de 50 m del borde para minimizar el efecto de borde; b) evitar condiciones atípicas, como sitios de anegamiento o áreas de bosque muy intervenido; c) asegurar la accesibilidad.

La metodología que se utilizó para caracterizar e identificar los tipos de bosques se adaptó del protocolo metodológico desarrollado en CATIE para la tipificación de bosques (Pérez et ál. 2001, Perdomo 2001, Ramos 2004, Murrieta 2006, Sesnie<sup>6</sup>). Se establecieron 40 parcelas temporales de 0,25 ha (50 m x 50 m) en diez fragmentos de bosque

secundario, los cuales variaron entre 6 a 40 ha. En estas parcelas se midió el dap de todos los árboles y palmas  $\geq 10$  cm y se identificó cada uno de los individuos. La identificación botánica fue realizada por taxónomos del Herbario de la Universidad Autónoma de León y el Herbario Nacional de Nicaragua.

*Muestreo de suelos.*- Para evaluar la relación entre los tipos de bosques y las condiciones de suelo y topografía, en cada parcela se colectaron muestras de suelo que permitieron determinar algunas características morfológicas y fisicoquímicas de los suelos y relacionar esta información con las comunidades de plantas. Para el muestreo se seleccionaron cinco puntos dentro de cada parcela de 50 m x 50 m: un punto en el centro de la parcela y los otros cuatro puntos en el centro de subparcelas de 25 m x 25 m (Pérez et ál. 2001, Ramos 2004). Las variables medidas en laboratorio fueron la textura, el contenido de materia orgánica y el pH.

Para determinar las características morfológicas del suelo se muestreó a tres profundidades (0-10 cm, 20-40 cm y 70-80 cm) en el centro de las parcelas de 0,25 ha. Las variables evaluadas fueron profundidad efectiva del suelo, drenaje, color, presencia de manchas y concreciones y textura. Con base en la información obtenida, se estimó el orden de suelo según Soil Survey Staff (2003). Otras variables consideradas fueron pendiente (%), altitud (msnm), pedregosidad en la superficie de la parcela y ubicación topográfica de la parcela, según las categorías de Delgado y Finegan (1999).

### Análisis de datos

*Caracterización e identificación de los tipos de bosque secundario.*- Para determinar la similitud entre las 40 parcelas y definir los tipos de bosques se elaboró una matriz con

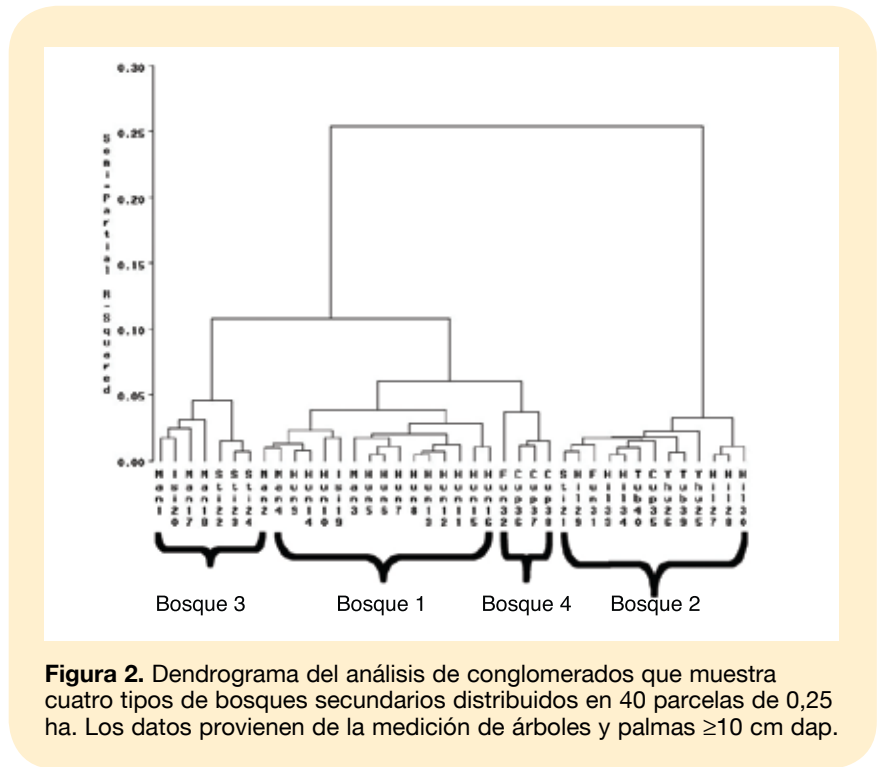
<sup>6</sup> Sesnie, S. 2005. Estudiante de doctorado del programa conjunto CATIE/Universidad de Idaho. Turrialba, CR, CATIE. Comunicación personal.

los valores del índice de valor de importancia (IVI) de las especies presentes en dos o más parcelas; no se consideraron aquellas especies con frecuencia igual a uno. A partir de esta matriz -y siguiendo las recomendaciones de McCune y Grace (2002) para la clasificación de tipos de bosques- se realizó un análisis de conglomerados que utiliza la distancia Euclidiana, mediante el programa estadístico SAS v. 6.1.

Para determinar las especies más significativas en cada tipo de bosque se utilizó el análisis de especies indicadoras, según el método de Dufrêne y Legendre; para ello se utilizó la prueba estadística de Monte Carlo con el programa PC - ORD v. 4.25 (McCune y Grace 2002).

*Riqueza, diversidad, composición y estructura de los tipos de bosques identificados.*- Tales variables fueron calculadas para cada uno de los tipos de bosques identificados. Para determinar la estructura se calculó la distribución diamétrica, área basal ( $m^2/ha$ ) y la abundancia total con el programa Microsoft Visual FoxPro v 5.0 (Kennamer 1996). La riqueza se calculó como el número total de especies presentes en cada tipo de bosque. La diversidad florística se analizó a través de los índices de diversidad de Shannon, Simpson y  $\alpha$  de Fisher usando el programa Estimates v 5.0.1 (Colwell 1997). Además, se calculó el índice de equidad<sup>7</sup> y se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas entre los tipos de bosques y pruebas de comparación de medias de Duncan.

*Análisis de la relación de las variables edáficas (suelo y topografía) con los tipos de bosques.*- Para determinar la relación entre los tipos de bosques con las variables edáficas se utilizó un análisis discriminante canónico con el programa Infostat v. 1.6 (Robledo et ál. 2000). Posteriormente, para determinar



**Figura 2.** Dendrograma del análisis de conglomerados que muestra cuatro tipos de bosques secundarios distribuidos en 40 parcelas de 0,25 ha. Los datos provienen de la medición de árboles y palmas  $\geq 10$  cm dap.

diferencias estadísticas se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Duncan para las variables cuantitativas (porcentaje de limo, arena, arcilla, pH, materia orgánica, pendiente, profundidad efectiva y altitud) y una prueba de Chi Cuadrado para las variables cualitativas (drenaje, pedregosidad en la superficie y ubicación topográfica).

### Resultados

En las 40 parcelas de 0,25 ha (10 ha) se registraron un total de 4361 individuos de árboles y palmas (identificados a nivel de especie) de 149 especies, 119 géneros y 48 familias. El total de especies reportadas representa un 5% de las especies conocidas para la vertiente Atlántica de Nicaragua (Stevens et ál. 2001). El análisis de conglomerados generó un dendrograma con cuatro grupos de parcelas que formaron los diferentes tipos de bosques (Fig. 2). El dendrograma muestra en el eje vertical los

valores de  $R^2$  que refleja la correlación entre las parcelas agrupadas y el tipo de bosque clasificado. Los bosques con mayor similitud fueron el 1, 3 y 4, en tanto que el bosque 2 se separó del resto. El bosque 1 estuvo presente en 16 parcelas (4 ha), el bosque 2 en 13 parcelas (3,25 ha), el bosque 3 en 7 parcelas (1,75 ha) y el bosque 4 en 4 parcelas (1 ha).

### Análisis de especies indicadoras

El método de Legendre y Dufrêne permitió seleccionar las especies arbóreas con mayor valor indicador (VI) estadísticamente significativo para una  $p < 0,05$  a través de la prueba de Monte Carlo. McCune y Grace (2002) señalan que el VI aparece en un rango de 0 “no indicación” a 100 “perfecta indicación”. Se encontraron 36 especies significativas distribuidas en los cuatro tipos de bosques. El número de especies indicadoras por tipo de bosque varió entre 7 y 10 especies, las cuales

<sup>7</sup> Índice de equidad  $E = H'/\ln(S)$  donde:  $H'$  es el índice de diversidad de especies en una comunidad y  $S$  es el número total de especies. El valor de  $E$  se sitúa entre 0 y 1, donde 1 representa una situación en la que todas las especies son igualmente abundantes (Magurran 1988).

tuvieron un rango de VI entre 28,6 y 86%. Los tipos de bosques se nombraron de la siguiente forma, según el VI y el IVI de cada una de las especies indicadoras:

■ Bosque 1: *Croton smithianus*, *Jacaranda copaia* y *Pentaclethra macroloba*. Este bosque se encuentra en la parte sur del área de estudio (Fig. 3) y se caracteriza por una mezcla de especies primarias y pioneras; entre ellas, *C. smithianus*, *J. copaia*, *Guarea grandifolia*, *Dendropanax arboreus*, *Pouteria durlandii*, *Protium glabrum*, *Miconia impetolaris*, *Virola koschnyi* y *Pseudolmedia spuria*. La especie con el mayor peso ecológico fue *P. macroloba*. En las 4 ha muestreadas se encontraron 81 especies y 1465 individuos.

■ Bosque 2: *Vochysia ferruginea*, *Xylopia frutescens* e *Hirtella racemosa*. Este bosque se ubica en la parte norte del área de estudio (Fig. 3) y se caracteriza por la presencia de cinco especies de palmas: *Astrocaryum alatum*, *Cryosophila warscewiczii*, *Manicaria saccifera*, *Prestoea decurrens* y *Welfia georgii*. Las especies *W. georgii* y *C. warscewiczii* solamente se encontraron en este bosque. La especie con mayor peso ecológico fue *V. ferruginea*. En 3,25 ha muestreadas se encontraron 90 especies y 1731 individuos.

■ Bosque 3: *Dipteryx oleifera*, *Bactris gasipaes* y *Coccoloba tuerckheimii*. Este bosque se caracteriza por una mezcla de especies de la parte sur y norte del área de estudio (Fig. 3), pero con mayor dominancia de especies del norte. Las especies asociadas a este tipo de bosque fueron *Spondias mombin*, *Luehea seemannii*, *Ficus tonduzii*, *Abarema acreana*, *Jacaratia spinosa*, *Plinia povedae* y *Tabernaemontana arborea*. *D. oleifera* fue la especie con mayor peso ecológico. En 1,75 ha muestreadas se encontraron 90 especies y 770 individuos.

■ Bosque 4: *Miconia hondurensis*, *Mosquitoxylum jamaicensis* e *Inga samanensis*. Este bosque se encuentra ubicado en la parte norte del área de estudio (Fig. 3). Al igual que en el bosque 1, *P. macroloba* fue la especie con mayor IVI; sin embargo, *M. hondurensis*, *M. jamaicensis* y *I. samensis* fueron las que más discriminaron con respecto a su valor indicador. Dos palmas ocurrieron en este tipo de bosque: *Astrocaryum alatum* y *Manicaria saccifera*. Otras especies arbóreas asociadas fueron *Pourouma bicolor*, *Hirtella lemsii*, *Cordia bicolor*, *Laetia thamnina* y *Brosimum guianense*. En 1 ha muestreada se encontraron 52 especies y 395 individuos.

#### Diversidad y riqueza de los tipos de bosques

No hubo diferencias estadísticas significativas entre los cuatro tipos de bosques para los valores promedio de número de especies ( $p=0,13$ ), índices de diversidad de  $\alpha$  Fisher ( $p=0,18$ ), Shannon ( $p=0,49$ ), Simpson ( $p=0,85$ ) y el índice de equidad ( $p=0,83$ ) utilizando una  $p < 0,05$ .

#### Análisis de la estructura de los tipos de bosques

La distribución de las clases diamétricas tuvo forma de “J” invertida con mayores abundancias en las clases diamétricas inferiores. Las clases diamétricas 10-19 cm, >60 cm y la abundancia total mostraron diferencias significativas (Cuadro 1). La prueba de comparación de medias de Duncan indicó que el bosque 2 no se diferenció del bosque 3 y 4 para la clase diamétrica 10-19 cm. En la clase diamétrica >60 cm, el bosque 3 se diferenció del resto porque registró especies con diámetros mayores. Las especies que contribuyeron en esta diferenciación fueron *Ceiba pentandra*, *Dipteryx oleifera*, *Goethalsia meiantha* y *Luehea seemannii*. En la abundancia total, el bosque 2 se diferenció del bosque 1 y 4.

En cuanto al área basal, el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Duncan mostraron que el bosque 2 no difiere del bosque 3 en la clase diamétrica 10-19 cm (Cuadro 2). En la clase diamétrica >60 cm y en la abundancia total, el bosque 3 presentó mayor área basal con respecto al resto.

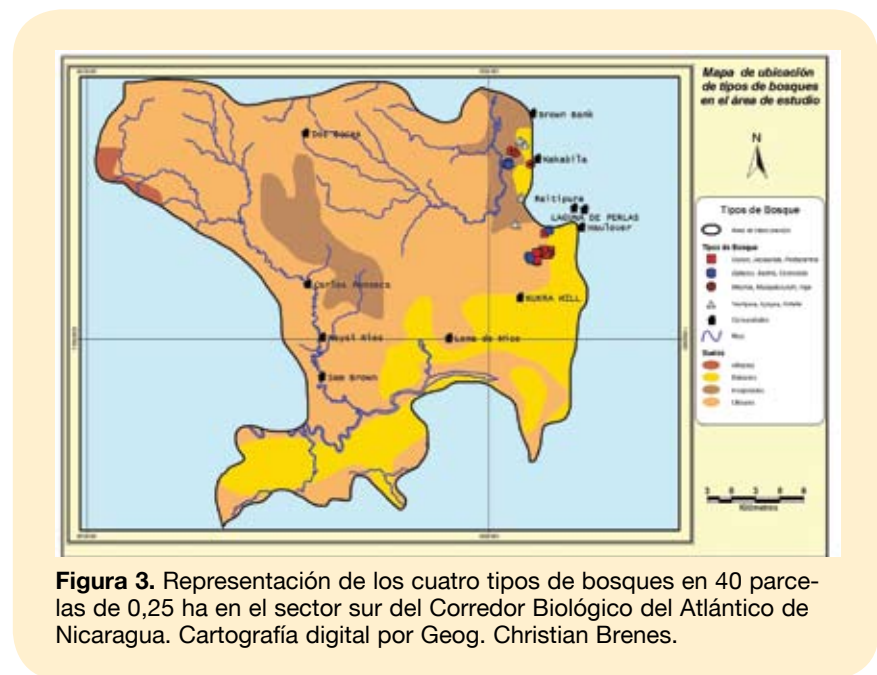


Figura 3. Representación de los cuatro tipos de bosques en 40 parcelas de 0,25 ha en el sector sur del Corredor Biológico del Atlántico de Nicaragua. Cartografía digital por Geog. Christian Brenes.

### Análisis discriminante canónico para las variables edáficas con los tipos de bosques

El análisis discriminante canónico indicó que el eje canónico 1 establece diferencias entre los bosques 1 y 4 y explica el 64,15% de la variabilidad; las variables con mayor peso discriminante fueron el porcentaje de arena, arcilla, pH y materia orgánica. El eje canónico 2 explica el 25,84% y las variables más importantes en este eje fueron el porcentaje de arena y la altitud (Fig. 4).

Los resultados del análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Duncan se resumen en el Cuadro 3. El bosque 4, conformado por las parcelas ubicadas en la parte norte del área de estudio, fue

el que presentó mayor contenido de arena. En cambio, el bosque 1 que abarca las parcelas ubicadas en la parte sur, presentó los mayores contenidos de arcilla. El análisis de Chi cuadrado ( $X^2$ ) indicó que el drenaje ( $p = 0,07$ ) y la posición topográfica ( $p = 0,05$ ) fueron significativas con una  $p < 0,1$ . Sin embargo, la pedregosidad en la superficie no mostró significancia ( $p = 0,10$ ).

### Discusión

Este estudio representa el primer esfuerzo en la identificación y caracterización de los bosques del sector sur del Corredor Biológico del Atlántico de Nicaragua, con base en información florística, diversidad, estructura y riqueza de

las especies de plantas y palmas. El estudio demuestra que existen cuatro tipos de bosques secundarios distintos en la zona: 1) Bosque de *Croton*, *Jacaranda* y *Pentaclethra*, 2) Bosque de *Vochysia*, *Xylopia* e *Hirtella*, 3) Bosque de *Dipteryx*, *Bactris* y *Coccoloba*, 4) Bosque de *Miconia*, *Mosquitoxylum* e *Inga*. Estos bosques están dominados por especies generalistas como *Brosimum guianense*, *Brosimum lactescens*, *Pentaclethra macroloba*, *Tetragastris panamensis*, heliófitas durables como *Goethalsia meiantha*, *Hyeronima alchorneoides*, *Luehea seemannii* y *Laetia procera* y heliófitas efímeras como *Croton smithianus*, *Cecropia insignis* y *Cecropia obtusifolia*.

**Cuadro 1.**

Diámetro promedio y abundancia total en los cuatro tipos de bosques definidos en el Corredor Biológico del Atlántico, Nicaragua

Clase diamétrica (cm)	Bosque 1 (N/ha)	Bosque 2 (N/ha)	Bosque 3 (N/ha)	Bosque 4 (N/ha)	p
10-19	225,50 ± 19,61 b	368,00 ± 37,61 a	282,86 ± 47,41 ab	270,00 ± 20,82 ab	0,01
20-29	98,25 ± 6,21	117,54 ± 9,17	97,14 ± 13,23	84,00 ± 7,66	0,14
30-39	27,00 ± 4,14	32,92 ± 3,66	34,86 ± 6,63	24,00 ± 13,95	0,58
40-49	8,00 ± 1,75	9,54 ± 2,66	8,00 ± 2,14	10,00 ± 4,16	0,93
50-59	3,25 ± 1,05	1,85 ± 1,07	6,29 ± 1,92	2,00 ± 2,00	0,16
> 60	4,25 ± 1,44 b	2,77 ± 1,14 b	10,86 ± 2,09 a	5,00 ± 3,00 b	0,01
Abundancia total (N)	366,25 ± 22,54 b	532,62 ± 36,09 a	440,00 ± 53,08 ab	395,00 ± 29,59 b	0,003

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

**Cuadro 2.**

Área basal promedio en los cuatro tipos de bosques definidos en el Corredor Biológico del Atlántico, Nicaragua

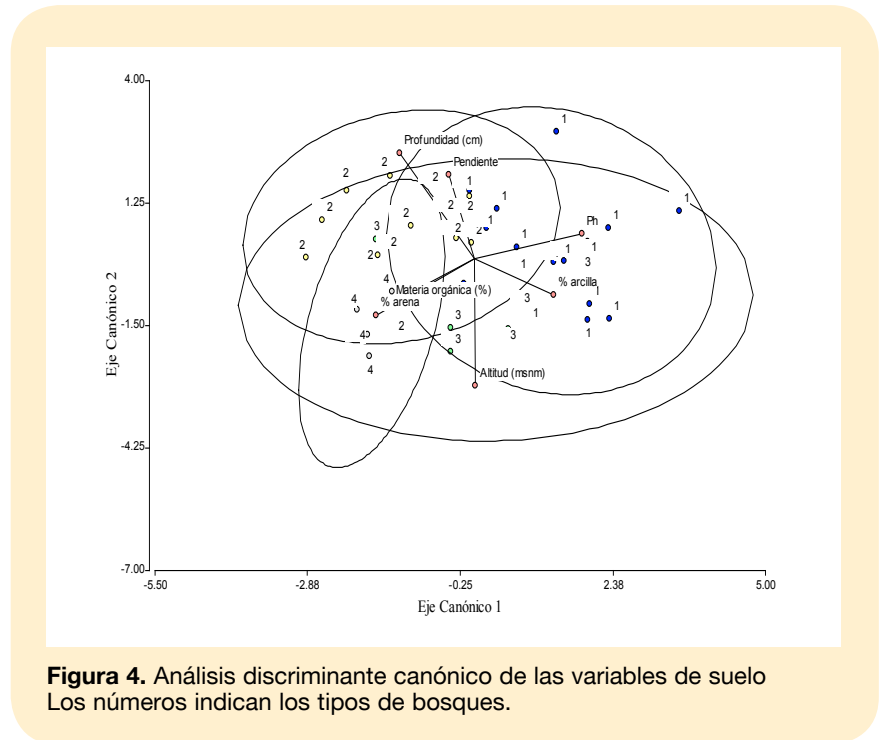
Clase diamétrica (cm)	Bosque 1 (G/ha)	Bosque 2 (G/ha)	Bosque 3 (G/ha)	Bosque 4 (G/ha)	p
10-19	3,69 ± 0,32 b	5,88 ± 0,56 a	4,48 ± 0,63 ab	4,18 ± 0,41 b	0,007
20-29	4,46 ± 0,31	5,33 ± 0,46	4,43 ± 0,63	3,73 ± 0,25	0,18
30-39	2,50 ± 0,39	2,98 ± 0,31	3,18 ± 0,65	2,20 ± 1,22	0,62
40-49	1,23 ± 0,26	1,48 ± 0,42	1,15 ± 0,30	1,45 ± 0,61	0,91
50-59	0,73 ± 0,24	0,42 ± 0,24	1,38 ± 0,44	0,43 ± 0,43	0,19
> 60	2,20 ± 0,80 b	1,65 ± 0,82 b	8,20 ± 1,28 a	3,92 ± 2,74 b	0,001
Total (G)	14,81 ± 0,93 b	17,74 ± 1,37 b	22,82 ± 2,78 a	15,90 ± 3,29 b	0,01

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

## Comparaciones entre tipos de bosques

Los análisis de diversidad e índice de equidad no mostraron diferencias entre bosques, ya que los cuatro tipos de bosques son igualmente diversos y mantienen muchas especies, pero sí en estructura y composición de especies. Generalmente los bosques secundarios presentan una gran variabilidad en composición florística en distancias cortas debido a factores como: variaciones fenológicas de las especies colonizadoras al momento de abandono de las áreas, tipo de regeneración, grado de proximidad de fuentes de semillas, factores edáficos y grado de perturbación a que hayan sido sometidos (Smith et ál. 1997, Guariguata et ál. 1997, Guariguata y Ostertag 2001, Finegan y Delgado 2000).

En los cuatro tipos de bosques se encontraron entre 42 y 58 especies por hectárea. Este número de especies es un poco inferior a lo reportado en bosques tropicales húmedos, donde se encuentran entre 60 y 80, y a veces hasta más de 100 especies por hectárea (Lamprecht 1990). Castillo (1997) reporta entre 54 y 71 especies en un bosque primario intervenido en Río San Juan, Nicaragua, a 168 km aproximadamente del sitio de este estudio. En total se encontraron siete especies



**Figura 4.** Análisis discriminante canónico de las variables de suelo. Los números indican los tipos de bosques.

de palmas (2,8% del total de individuos); este número de especies de palma es alto en comparación con otros estudios que se han desarrollado en paisajes menos perturbados y en hábitats de bosques primarios intervenidos y manejados. Así por ejemplo, Perdomo (2001) encontró siete especies de palmas en un área de 11,25 ha al sureste del sitio evaluado; Ramos (2004) también encontró siete palmas en un área de

13 ha en la zona Atlántica de Costa Rica. Vandermeer et ál. (1990) y Finegan et ál. (2001) consideran que la presencia de ciertas especies de palmas en un bosque húmedo es un indicador de poca perturbación o intervención durante muchos años.

Los tipos de bosques tuvieron entre 366,25 y 532,62 individuos por hectárea; estas densidades son similares a las de otros bosques húmedos estudiados. Por ejemplo, en La Selva,

### Cuadro 3.

Análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Duncan para la relación de las variables de suelo con los tipos de bosques.

Variables	Bosque 1	Bosque 2	Bosque 3	Bosque 4	p
% de arena	45,88 ± 4,66 c	62,38 ± 3,55 b	53,29 ± 5,75 bc	79,50 ± 6,13 a	0,002
% de arcilla	37,63 ± 3,70 a	20,54 ± 2,95 bc	31,86 ± 5,62 ab	10,50 ± 3,95 c	0,0009
% de limo	16,25 ± 2,26	17,08 ± 1,44	14,86 ± 1,44	10,00 ± 2,45	0,34
Materia orgánica (%)	2,08 ± 0,25 b	3,38 ± 0,33 a	2,63 ± 0,42 ab	2,58 ± 0,60 ab	0,02
pH	5,68 ± 0,17 a	5,06 ± 0,07 b	5,26 ± 0,16 ab	4,80 ± 0,14 b	0,004
Profundidad (cm)	79,63 ± 3,93	84,92 ± 2,39	73,43 ± 7,38	75,00 ± 5,00	0,32
Pendiente (%)	13,44 ± 0,75	17,31 ± 2,16	13,57 ± 1,43	15,00 ± 0,00	0,22
Altitud (msnm)	36,38 ± 2,54 ab	30,85 ± 2,81 b	41,14 ± 3,01 a	45,50 ± 6,34 a	0,04

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Costa Rica se encontraron valores entre 356 y 564 árboles/ha y en el Atlántico Norte de Nicaragua entre 568 y 676 árboles/ha (Lieberman y Lieberman 1994, Pérez et ál. 2001).

En cuanto al área basal, los rangos fueron de 14,81 a 22,8 m<sup>2</sup>/ha. Finegan (1992) encontró un área basal de 16 m<sup>2</sup>/ha en bosques secundarios de quince años de edad en Costa Rica; Pérez et ál. (2001), por su parte, determinó valores entre 16,3 y 25,2 m<sup>2</sup>/ha en los bosques del Atlántico Norte de Nicaragua. Los resultados reflejan que la mayoría de los individuos están en las clases diamétricas inferiores y muy pocos individuos en las clases superiores, en gran parte debido al impacto del huracán Juana en 1988 y efectos antropogénicos en la vegetación del paisaje.

### Relación de las variables edáficas con los tipos de bosques

Diversos estudios muestran que dentro de una misma región climática las condiciones del suelo pueden influir en la composición florística de los bosques. En el presente estudio, los análisis multivariados y univariados evidenciaron que entre los tipos de bosques 1 y 4 hay diferencias en textura y tipo de suelo. Tuomisto et ál. (2003) encontraron resultados similares en los bosques amazónicos peruanos, donde la textura fue muy importante para describir los patrones florísticos.

En 11 de las parcelas que conformaron el bosque 1, los suelos se clasificaron como Ultisoles. Las cinco parcelas restantes se ubicaban sobre suelos Inceptisoles y Entisoles. El 75% de las parcelas se encontraban en laderas medias y el 25% en planicies, con suelos moderadamente a bien drenados. Entre las especies encontradas en este tipo de bosque están *Carapa guianensis* y *Pterocarpus officinalis* que prefieren sitios con textura arcillosa, planos y con drenaje moderado (Vandermeer

et ál. 1990, Hartshorn y Hammel 1994), o bien *Dendropanax arboreus* y *Tetragastris panamensis* que habitan generalmente en sitios bien drenados (Vandermeer et ál. 1990).

A pesar del grado de destrucción y fragmentación del paisaje, en un muestreo de tan solo 10 ha se identificaron cuatro tipos de bosques con composición y estructura distinta, donde se conservan 149 especies, siete de las cuales son palmas.

En cambio, el bosque 2 se encontró sobre suelos Entisoles e Inceptisoles. El 46% de las parcelas se ubicaron en ladera media, con suelos moderadamente a bien drenados. Herrera y Finegan (1997) señalan que *V. ferruginea* y *Dussia macrophyllata*, especies asociadas a este bosque, típicamente habitan en suelos bien drenados. El bosque 3 se encontró principalmente sobre suelos Entisoles e Inceptisoles, con dos parcelas en suelos Ultisoles. El 43% de las parcelas se distribuyeron en planicies y laderas medias y suelos desde moderadamente a bien drenados. El bosque de *Dipteryx* encontrado por Perdomo (2001) en el sureste de Nicaragua crecía en suelos profundos con drenaje intermedio, lo cual coincide con el drenaje encontrado aquí, aunque los suelos en este bosque son moderadamente profundos. Finalmente el bosque 4 se ubicó sobre suelos Entisoles e Inceptisoles, con suelos moderadamente bien drenados y en laderas medias.


En los bosques húmedos tropicales muchas veces se dificulta obtener muestreos y patrones claros que registren la relación entre la vegetación y el suelo debido a la gran riqueza de especies (Cortés-Castelán e Islebe 2005). En consecuencia, las combinaciones de factores fisicoquímicos y morfológicos pueden ayudar a determinar la estructura y composición florística de un bosque. Sin embargo, a pesar de estos factores en el área de estudio se encontró que los tipos de bosques se distribuyen sobre dos principales tipos de paisajes: a) un paisaje con lomas de Ultisoles (bosque de *Croton*, *Jacaranda* y *Pentaclethra*) y b) un paisaje aluvial (bosque de *Vochysia*, *Xylopia* e *Hirtella*, bosque de *Dipteryx*, *Bactris* y *Coccoloba* y bosque de *Miconia*, *Mosquitoxylum* e *Inga* (Nieuwenhuyse<sup>8</sup>).

A pesar del grado de destrucción y fragmentación del paisaje, en un muestreo de tan solo 10 ha se identificaron cuatro tipos de bosques con composición y estructura distinta, donde se conservan 149 especies, siete de las cuales son palmas. Los cuatro tipos de bosques albergan especies maderables como *D. oleifera*, *V. ferruginea*, *V. koschnyi* y *V. sebifera*, con densidades  $\geq 1$  ind/ha, lo que coincide con lo reportado por Díaz (2006) en bosques naturales al sureste del área de estudio. Otras especies como *C. guianensis*, *C. pentandra*, *L. ampla* y *S. trichogyna* se encontraron con densidades  $< 1$  ind/ha, aunque Díaz (2006) reporta a *C. guianensis* y *S. trichogyna* como especies comunes en el sureste de Nicaragua.

### Conclusión

El estudio demuestra que existen por lo menos cuatro tipos de bosques en la zona, cada uno con su propia composición florística y asociado a diferentes condiciones de sustrato. Es obvio que mantener

<sup>8</sup> Nieuwenhuyse, A. 2006. Experto en agroforestería tropical. Turrialba, CR. CATIE. Comunicación personal.

muestras representativas de estos cuatro tipos de bosques, tanto en las áreas protegidas, como a lo largo del corredor biológico del Atlántico, es una prioridad para asegurar la conservación de la diversidad florística de la zona a largo plazo. 

### Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas del área de estudio por su apoyo en este estudio. A Steven Sesnie y Gustavo López por su ayuda con los análisis estadísticos. A Christian Brenes por el trabajo de SIG. A Andreas Nieuwenhuyse por sus excelentes observaciones y recomendaciones para la parte de suelos. A Patricia Hernández, Hugo Brenes, Fergus Sinclair y Lorraine Gormley por la gestión financiera. Al proyecto DARWIN por el financiamiento del estudio. Al Dr. Ricardo Rueda, Alfredo Grijalva e Indiana Coronado por la identificación botánica.

### Literatura citada

- Castillo, A. 1997. Factores asociados con el crecimiento de dos bosques húmedos tropicales intervenidos silviculturalmente en Río San Juan, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 111 p.
- Colwell, RK. 1997. Statistical estimation of species richness and shared species from samples. V. 5.0.1 (en línea). University Connecticut, USA. Disponible en <http://www.viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Cortés-Castelán, J; Islebe, G. 2005. Influencia de factores ambientales en la distribución de especies arbóreas en las selvas del sureste de México. *Revista de Biología Tropical* 53(1-2):115-133.
- Delgado, D; Finegan, B. 1999. Biodiversidad vegetal en bosques manejados. *Revista Forestal Centroamericana* 25:14-20.
- Díaz, F. 2006. Evaluación del estado actual de las poblaciones de 23 especies forestales en bosques naturales en el municipio de El Castillo, Río San Juan, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 76 p.
- Finegan, B. 1992. El potencial de manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de las tierras bajas. Turrialba, CR, CATIE. . 28 p. (Serie técnica, Informe técnico no. 188)
- \_\_\_\_\_. Delgado, D. 2000. Structural and floristic heterogeneity in a 30 year-old Costa Rican rain forest restored on pasture through natural secondary succession. *Restoration Ecology* 8(4):380-393.
- \_\_\_\_\_. Palacios, W; Zamora, N; Delgado, D. 2001. Ecosystem – level forest biodiversity and sustainability assessments for forest management. *In* Raison, JR; Brown, AG; Flinn, DW. Criteria and indicators for sustainable forest management. Vienna, AT, CABI / IUFRO. p. 341-378.
- Guariguata, MR; Chazdon, RL; Denslow, JS; Dupuy, JM; Anderson, L. 1997. Structure and floristic of secondary and old-growth forest stands in lowland Costa Rica. *Plant Ecology* 132:107-120.
- \_\_\_\_\_. Ostertag, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148:185-206.
- Hartshorn, G; Hammel, B. 1994. Vegetation types and floristic patterns. *In* McDade, LA; Bawa, KS; Hespeneheide, HA; Hartshorn, GS (eds.). *La Selva: Ecology and natural history of a neotropical rain forest*. Chicago, US, University of Chicago Press. p. 73-89.
- \_\_\_\_\_. 2002. Biogeografía de los bosques neotropicales. *In* Guariguata, MR; Kattan, GH (eds). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Cartago, CR, EULAC/GTZ. p. 59-81.
- Herrera, B; Finegan, B. 1997. Substrate conditions, foliar nutrients and the distributions of two canopy tree species in a Costa Rican secondary rain forest. *Plant and Soil* 191:259-267.
- Kenamer, WJ. 1996. Microsoft visual FoxPro v 5.0. Microsoft Corporation.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Berlín, DE, GTZ. 335 p.
- Lieberman, M; Lieberman, D. 1994. Patterns of density and dispersion of forest trees. *In* McDade, LA; Bawa, KS; Hespeneheide, HA; Hartshorn, GS (eds). *La Selva: Ecology and natural history of a neotropical rain forest*. Chicago, US, University of Chicago Press. p. 106-109.
- Magurran, A. 1988. *Ecología, diversidad y su medición*. Bangor, Inglaterra. 198 p.
- McCune, B; Grace, JB. 2002. *Analysis of ecological communities*. Gleneden Beach, Oregon, US, Software Design. 300 p.
- Murrieta, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.
- Pérez, MA; Finegan, B; Delgado, D; Louman, B. 2001. Composición y diversidad de los bosques de la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua: una base para el manejo sostenible. *Revista Forestal Centroamericana* 34:12-18.
- Perdomo, M. 2001. Herramientas para la planificación del manejo de los bosques a escala de paisaje en el municipio de El Castillo del sudeste de Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 139 p.
- Ramos, ZS. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 114 p.
- Robledo, CW; Di Rienzo, JA; Guzmán, W; Balzarini, MG; Casanovas, F; González, LA; Tablada, EM. 2000. *Manual de InfoStat/profesional versión 1.6*. Córdoba, AR, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Sánchez M, D. 2006. Criterios ecológicos para la planificación de la conservación en un sector del Corredor Biológico del Atlántico de Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 122 p.
- Soil Survey Staff. 2003. *Keys to soil taxonomy*. Washington, US, USDA. 9 ed. 332 p.
- Smith, J; Sabogal, C; Jong, W; Kaimowitz, D. 1997. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. Bogor, IN, CIFOR. Documento No. 13. 36 p.
- Stevens, W; Ulloa, C; Pool, A; Montiel, O. 2001. *Flora de Nicaragua*. Missouri, US, Missouri Botanical Garden. Monographs in Systematic Botany. 2666 p.
- Tuomisto, H; Poulsen, A; Ruokolainen, K; Moran, R. 2003. Linking floristic patterns with soil heterogeneity and satellite imagery in Ecuadorian Amazonia. *Ecological Application* 13(2):352-371.
- Vandermeer, J; Zamora, N; Yih, K; Boucher, D. 1990. Regeneración inicial en una selva tropical en la costa caribeña de Nicaragua después del huracán Juana. *Revista de Biología Tropical* 38(2B):347-359.



# Identificación y caracterización florística de bosques naturales en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica<sup>1</sup>

Eduardo Murrieta<sup>2</sup>; Bryan Finegan<sup>3</sup>;  
Diego Delgado<sup>4</sup>; Róger Villalobos<sup>5</sup>;  
José Joaquín Campos<sup>6</sup>

La identificación de tipos de bosques naturales en un corredor es importante porque ayuda a definir las comunidades vegetales existentes en el corredor, lo cual es necesario para la toma de decisiones, tanto de conservación como de manejo sostenible de esos bosques. Los conceptos modernos de conservación de biodiversidad y manejo forestal sostenible deben fundamentarse en el conocimiento de los tipos de bosque de una zona.



Foto: Eduardo Murrieta.

<sup>1</sup> Basado en Murrieta, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central - Talamanca. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, CATIE. murrieta@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Grupo Bosques, Áreas Protegidas y Biodiversidad, CATIE. bfinegan@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Grupo Bosques, Áreas Protegidas y Biodiversidad, CATIE. ddelgado@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Cátedra Latinoamericana de Gestión de Territorios Forestales, CATIE. rvillalo@catie.ac.cr

<sup>6</sup> Cátedra Latinoamericana de Gestión de Territorios Forestales, CATIE. jcampos@catie.ac.cr

## Resumen

Este estudio trata sobre la identificación y caracterización de tipos de bosques naturales en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. El muestreo se centró en la vegetación secundaria por ser la predominante en el corredor. Para la selección de sitios en campo se realizó un muestreo estratificado que tuvo en cuenta variables físico-ambientales, como pendiente, suelos y zonas de vida. La conjugación de estas variables mediante el sistema de información geográfica permitió obtener un mapa con seis estratos para la instalación de las parcelas.

El muestreo se hizo en parcelas temporales de dos tamaños: 50 m x 50 m (0,25 ha) y 20 m x 50 m (0,10 ha), donde se midió la vegetación con dap  $\geq 20$  cm y  $\geq 10$  cm respectivamente. Para la clasificación final de la cobertura vegetal se usó el tamaño de parcela de 0,25 ha. Los análisis multivariados agruparon cinco tipos de bosque. Estos bosques fueron nombrados según sus especies indicadoras: 1) *Clarisia biflora*, *Ocotea nicaragüensis* y *Rollinia pittieri*; 2) *Vismia macrophylla*, *Vochysia allenii* y *Miconia punctata*; 3) *Hampea appendiculata*, *Cecropia obtusifolia* y *Conostegia rufescens*; 4) *Croton draco*, *Citharexylum caudatum* y *Cecropia peltata*; 5) *Croton schiedeanus*, *Alfaroa costaricensis*, y *Abarema idiopoda*. Los bosques fueron caracterizados y comparados en cuanto a variables como composición, estructura, riqueza y diversidad florística. La distribución de los tipos de bosques se ligó principalmente a cambios altitudinales. Fue posible así elaborar un mapa preliminar de tipos de bosque en función de la variable altitud.

**Palabras claves:** Bosque natural; corredor biológico; fragmentación del bosque; composición botánica; cobertura vegetal; Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca; Costa Rica.

## Summary

### Identification and characterization floristic of natural forests in the Volcánica Central-Talamanca Biological Corridor, Costa Rica.

This study identified and characterized natural forest types in the Biological Corridor Volcanica Central Talamanca, Costa Rica. Sampling was focussed on secondary vegetation because it is predominant in the corridor. For selecting field sites, a stratified sampling was conducted taking into account biophysical variables such as slope, soil, and life zones; a six-stratum map was produced to define plots installation.

Sampling was conducted in 2-size temporary plots: 50m x 50m (0.25 ha) and 20 m x 50 m (0.10 ha) where vegetation with dbh  $\geq 20$  cm and  $\geq 10$  cm was measured. The final classification of vegetation cover was based on the 0.25 ha plot. The multi-varied analysis defined five forest types, which were named after indicator species: 1) *Clarisia biflora*, *Ocotea nicaragüensis* and *Rollinia pittieri*; 2) *Vismia macrophylla*, *Vochysia allenii* and *Miconia punctata*; 3) *Hampea appendiculata*, *Cecropia obtusifolia* and *Conostegia rufescens*; 4) *Croton draco*, *Citharexylum caudatum* and *Cecropia peltata*; 5) *Croton schiedeanus*, *Alfaroa costaricensis* and *Abarema idiopoda*. Forests types were characterized and compared using variables such as composition, structure, richness, and floristic diversity. The distribution of forest types was related principally to altitudinal changes. It was possible to create a preliminary map of forest types as a function of altitude.

**Keywords:** Natural forest; biological corridor; fragmentation; botanical composition; vegetal cover; Biological Corridor Volcanica Central Talamanca; Costa Rica.

## Introducción

La deforestación, degradación y fragmentación de los bosques húmedos tropicales se tienen entre las principales causas de pérdida de biodiversidad en los trópicos (Kattan 2002, Bennett 1999). Es posible que las comunidades de flora y fauna lleguen a extinguirse como consecuencia de estos procesos (Tabarelli et ál. 1999), debido a factores bióticos y abióticos que determinan la viabilidad de las comunidades y de factores antropogénicos que no siempre son fáciles de medir (Guariguata et ál. 2002). En la actualidad, las estrategias de conservación para hacer frente a estos procesos se están enfocando en la planificación integral de grandes territorios (paisajes), basadas en el hecho de que muchos de los procesos ecológicos operan en amplias escalas espacio-temporales (Sanderson et ál. 2002, Hoctor et ál. 2000).

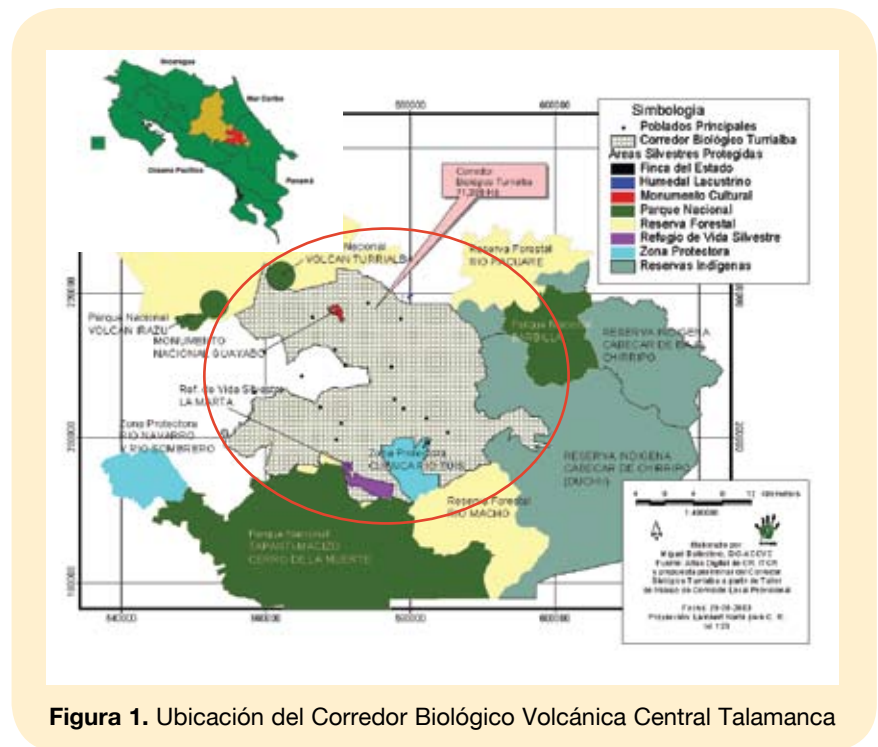
La escala de paisaje es uno de los niveles de evaluación de la biodiversidad más comúnmente usado en los últimos años. En el análisis a escala de paisaje se puede establecer la diversidad y distribución de diferentes tipos de hábitats, el número, tamaño, forma y complejidad de hábitats y la asociación y dispersión entre ellos (Forman y Godron 1981). Bajo el enfoque de escala de paisaje, los corredores biológicos constituyen una estrategia importante de conservación de la biodiversidad. Esta estrategia se basa en mantener la viabilidad de poblaciones de flora y fauna en fragmentos de hábitat, facilitando el paso de individuos de un fragmento a otro (Beier y Noss 1998, Barrett y Bohlen 1991, Rosenberg et ál. 1997, García 2002). La fragmentación es un proceso dinámico que da como resultado cambios marcados en el patrón del hábitat en un paisaje a través del tiempo. Los procesos de fragmentación tienen tres efectos para la biodiversidad: a) pérdida o

destrucción total del hábitat en el paisaje, b) reducción del hábitat y c) aislamiento de los fragmentos de hábitat (Bennett 1999). Por estas razones en los últimos años la ecología del paisaje, con sus teorías y técnicas para evaluar los impactos, se ha convertido en un instrumento para entender, establecer y mitigar los efectos de la fragmentación sobre la conservación de la biodiversidad (Metzger 2000, Crist et ál. 2000).

La clasificación de la vegetación natural ayuda en el diseño de estrategias de conservación a escala de paisaje y en la evaluación de la efectividad de tales estrategias (Jennings 2000). La falta de información sobre tipos de bosques dificulta el poder distinguir los niveles de amenaza y los grados de protección de los distintos tipos de comunidades existentes en un territorio (Jennings 2000). La identificación de tipos de bosques naturales en un corredor es importante porque ayuda a definir las comunidades vegetales existentes en el corredor, lo cual es necesario para la toma de decisiones, tanto

de conservación como de manejo sostenible de esos bosques. Los conceptos modernos de conservación de biodiversidad y manejo forestal sostenible deben fundamentarse en el conocimiento de los tipos de bosque de una zona (Noss 1996, Finegan et ál. 2001). Por ello, la determinación de las características florísticas del bosque en diferentes escalas espaciales constituye una herramienta básica de planificación que permite generar los conocimientos necesarios para la elaboración de los planes de uso, manejo y conservación de la biodiversidad (Matteucci y Colma 1982). A través de esta planificación es posible analizar la estructura, composición y diversidad de la vegetación dominante (Tuomisto 1993) para identificar las asociaciones florísticas (Jennings 2000) que conforman los ecosistemas naturales que existen en el paisaje.

El presente estudio se realizó en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT), ubicado en la provincia de Cartago, Costa Rica (Fig. 1). El deterioro ambiental y la fragmentación de la



cobertura boscosa en el corredor atenta contra la biodiversidad de la región, lo que hace urgente la aplicación de una estrategia de conservación de los recursos naturales. Los objetivos del estudio fueron: 1) identificar, caracterizar y comparar los tipos de bosques naturales en el CBVCT en términos de estructura, composición, riqueza y diversidad florística; 2) determinar la distribución espacial de los tipos de bosque natural dentro del CBVCT. Esta iniciativa busca contribuir al conocimiento y consolidación del manejo del paisaje dentro del corredor, tomando en cuenta aspectos como la caracterización de tipos de ecosistemas naturales y la elaboración de un mapa de tipos de bosque en el CBVCT.

### Metodología

El CBVCT tiene una extensión aproximada de 72.000 ha dentro del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC). Su rango altitudinal va desde 339 msnm en el distrito de Peralta hasta 3340 msnm en el Volcán Turrialba (Canet 2003). El corredor limita al norte con el Parque Nacional Volcán Turrialba y la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central; al oeste con la ciudad de Turrialba, al sur con el Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, el Refugio Privado de Vida Silvestre La Marta y la Zona Protectora de la Cuenca del Río Tuis, y al este con la Reserva Indígena Cabécar de Chirripó (Fig. 1).

El objetivo del corredor es mantener, mejorar y/o restablecer la conectividad ecológica entre el Parque Nacional Volcán Turrialba, el Monumento Nacional Guayabo, la Zona Protectora de la Cuenca del Río Tuis y la Reserva Privada de Vida Silvestre La Marta, con el fin de mejorar la calidad ambiental del entorno. Las condiciones climáticas que imperan en el CBVCT están influenciadas por el sistema de vientos alisios que incursionan por la

vertiente del Caribe y que aportan el total de la humedad que se distribuye en toda la Cordillera Volcánica Central. El sistema montañoso de la zona proporciona la formación de masas nubosas. La distribución de las lluvias es uniforme a lo largo del año; la precipitación anual es de 2650 mm en la zona norte y centro del CBVCT, y de 6000 mm en la zona sur (Janzen 1991 citado por Canet 2003).

Según la clasificación de Holdridge (1987) y el Atlas de Costa Rica (ITCR 2004), el CBVCT presenta siete zonas de vida y tres transiciones (Cuadro 1). La cobertura boscosa principal es de bosques secundarios con ciertos fragmentos de bosque primario (Murrieta et ál. 2006), aunque también se dan otros usos del suelo como café, pasto, caña. Las zonas de uso mixto predominan sobre las áreas de uso urbano.

### Diseño de muestreo

La metodología persigue, en principio, identificar tipos de bosques secundarios por ser el tipo de vegetación predominante en el corredor y determinar su distribución a partir del análisis de características estructurales, de composición y

de diversidad de la vegetación en parcelas temporales establecidas en una muestra del ecosistema dentro del corredor. Para esto se hizo una interpretación usando el software ArcView de las fotos del Proyecto Carta del año 2003 a escala 1:40.000 para hacer el levantamiento de las áreas en dos componentes: las áreas con bosque y sin bosque. También se utilizó la imagen de satélite Landsat TM del año 2003 con resolución 28,5 m x 28,5 m.

Se realizó una estratificación conjugando dos órdenes de la capa de suelos (ITCR 2004): Inceptisoles y Ultisoles y la capa de pendiente. Esta última capa se generó a partir de un modelo de elevación digital y contempló los siguientes rangos de pendiente: 0% a 20%, 20% a 60% y >60%. Las dos categorías de suelo y las tres de pendiente generaron seis estratos. El proceso de selección de los parches de bosque se hizo de tal manera que se abarcaran los diversos estratos establecidos anteriormente. En la selección de los bosques se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

a) *Estado de conservación*: se evitó seleccionar fragmentos con evidencia de intervención humana reciente, como

**Cuadro 1.**  
Zonas de vida presentes en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

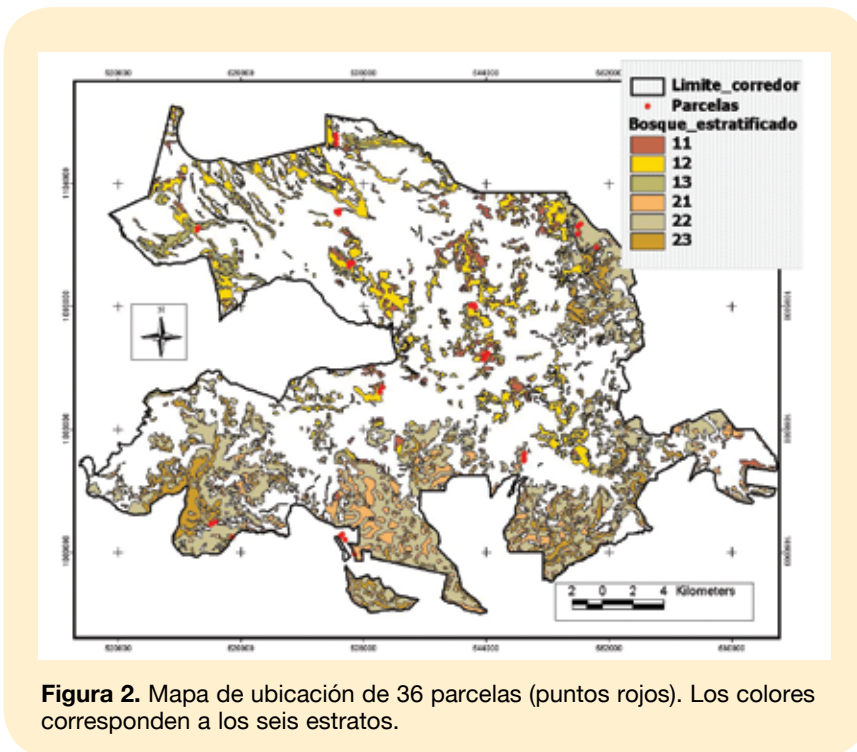
Zonas de Vida
Bosque muy húmedo tropical
Bosque húmedo tropical premontano
Bosque muy húmedo tropical premontano
Bosque pluvial tropical premontano
Bosque muy húmedo tropical montano bajo
Bosque pluvial tropical montano bajo
Bosque pluvial tropical montano
Transiciones
Bosque muy húmedo tropical transición a premontano
Bosque muy húmedo premontano transición a pluvial
Bosque húmedo tropical transición a premontano

aprovechamiento de madera. b) *Tamaño y forma*: en lo posible, se evitaron áreas que presentaran efectos de borde; se consideró un área mínima de bosque de 8-10 ha. c) *Facilidad de acceso*: en la etapa de campo se instalaron y midieron 36 parcelas: 29 en bosque secundario y 7 en bosque primario (Fig. 2).

La dimensión de las parcelas fue de 50 m x 50 m (0,25 ha). Se evaluaron árboles con diámetro a la altura del pecho (dap)  $\geq 20$  cm y palmas y helechos con dap  $\geq 10$  cm; también se midieron las lianas que presentaran un tallo de circunferencia  $\geq 10$  cm dap. Al interior de cada parcela se estableció una franja de 20 m x 50 m (0,1 ha) en donde se hizo un muestreo de la vegetación a partir de dap  $\geq 10$  cm. Se utilizaron dos tamaños de parcelas para determinar si existen diferencias en la caracterización de la cobertura vegetal; sin embargo, la clasificación final se hizo considerando el tamaño de parcela de 0,25 ha. Una vez definidos los tipos de vegetación se utilizó la información reunida en los dos tamaños de parcelas para la caracterización de los bosques. Para la instalación de parcelas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) En los bosques primarios, las parcelas se instalaron considerando una distancia de por lo menos 150 m del borde del fragmento; en bosques secundarios se consideró una distancia de entre 30 a 50 m desde el borde.
- 2) Se evitaron condiciones atípicas en los fragmentos de bosque; por ejemplo, áreas anegadas o donde se evidencia un mayor o menor desarrollo del rodal.
- 3) El distanciamiento entre parcelas fue de por lo menos 300 m.

La identificación de los individuos a nivel de especie se hizo en campo con la ayuda de Vicente Herra, parataxónomo del Departamento de Recursos Naturales y Ambiente del CATIE. De todos los individuos que no pudieron ser identificados



**Figura 2.** Mapa de ubicación de 36 parcelas (puntos rojos). Los colores corresponden a los seis estratos.

en campo se recolectaron muestras botánicas y se enviaron a Nelson Zamora, curador del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio).

#### Análisis de datos

Todos los análisis estadísticos se hicieron para las parcelas de 0,25 ha y de 0,10 ha por separado. El índice de valor de importancia (IVI) se calculó por parcela para cada una de las especies encontradas. Se aplicaron análisis multivariados utilizando el software PC-ORD v. 4.25 (McCune y Mefford 1999). Para la identificación de tipos de bosque se empleó el 'cluster analysis' y se utilizó la distancia de Sorensen con el método Flexible Beta. Para la selección de un número óptimo de clusters se acudió a la información gráfica de los dendrogramas con las opciones de varias conformaciones de grupos de bosques. Se utilizó el criterio de 'indicator species analysis' (McCune y Grace 2002) con diferente número de grupos como apoyo para la conformación de tipos de bosque; con el nombre de las especies indicadoras

se llegó a nombrar los bosques. En todos estos análisis las parcelas de bosque primario y secundario se analizaron juntas. Las especies utilizadas en el análisis estadístico fueron aquellas presentes en dos o más parcelas; las matrices principales se elaboraron con los valores de IVI.

El análisis *discriminante canónico* se usó para determinar qué variable son las que tienen más peso discriminante en la diferenciación de los tipos de bosque. Se tomaron en cuenta seis variables ambientales: edad del bosque, altitud, pendiente, precipitación, suelos y zonas de vida. Los datos de edad del bosque se obtuvieron mediante entrevistas semi-estructuradas y corroborados mediante visitas al Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE), sede de Turrialba. Los datos de altitud y pendiente se obtuvieron del modelo de elevación digital a cada 10 m de altitud. Los datos de precipitación se graficaron para obtener una capa de isoyetas (IMN 1975). Los datos de suelos fueron suministrados por Winowiecki<sup>7</sup>, mientras que los datos

<sup>7</sup> Leigh Winowiecki. Noviembre 2005. Estudiantes de Doctorado, CATIE. Comunicación Personal.

de zonas de vida se obtuvieron del Atlas de Costa Rica (ITCR 2004).

Una vez que el análisis discriminante canónico estableció qué variable son las que más discriminan en la diferenciación de los tipos de bosque, se hizo un análisis de varianza (ANDEVA) con la prueba de Duncan y un  $\alpha = 0.05$  de las variables que resultaron significativas en el análisis discriminante canónico, para ver si arrojaban diferencias entre variables. También se hizo un análisis de ordenación *'nonmetric multidimensional scaling'* (NMS) con el programa PC-ORD v. 4.25 y su opción "autopiloto"; este es un método efectivo de ordenación mediante un análisis de correspondencia (asociación) de especies / parcelas (McCune y Grace 2002). La medida de distancia utilizada para este análisis fue el coeficiente de Sorensen (ó Bray-Curtis).

Una vez identificados los tipos de bosques se procedió a analizar

y comparar su estructura, composición y diversidad. Para los análisis de estructura, diversidad y riqueza de los tipos de bosque se utilizaron solo las especies de las 29 parcelas muestreadas en bosque secundario, por ser las que más predominan en el área de estudio. Para cada uno de los tipos de bosque identificados se hicieron los cálculos de medias por parcela para número de especies, densidad (N/ha), área basal (m<sup>2</sup>/ha), distribución por clases diamétricas del número de individuos y área basal. Se calcularon tres índices de diversidad: Shannon (H'), Simpson (D), el  $\alpha$  de Fisher (Magurran 1989), empleando el programa EstimateS v. 5.0.1 (Colwell 1997). También se calculó el índice de equidad (Magurran 1989). Se aplicaron pruebas de ANDEVA con la prueba estadística de Duncan a todas las variables para ver si mostraban diferencias estadísticas entre los tipos de bosque.

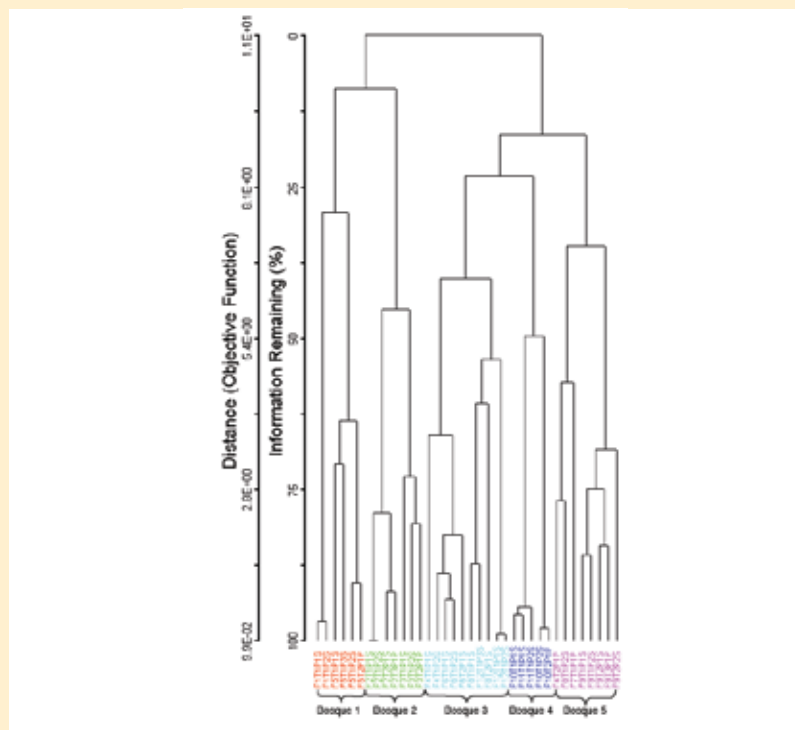
### Elaboración preliminar del mapa potencial de tipos de bosque

Para la elaboración preliminar del mapa potencial de tipos de bosque se utilizó la cobertura de bosque (mapa preliminar de cobertura boscosa elaborado en la etapa de diseño de muestreo). El modelo de elevación digital se reclasificó en cinco rangos altitudinales según el número de tipos de bosque establecidos anteriormente. Por medio de ArcView se obtuvo el mapa potencial preliminar de tipos de bosques en el CBVCT. Este mapa muestra gráficamente la distribución y extensión espacial de los tipos de bosque en el corredor. Esta información sirvió como base para establecer una propuesta de red de conectividad en el área (Murrieta et al, pág. 69 en este mismo número); asimismo, se espera que sirva como herramienta de gestión para la toma de decisiones sobre el manejo y conservación de los bosques en el CBVCT.

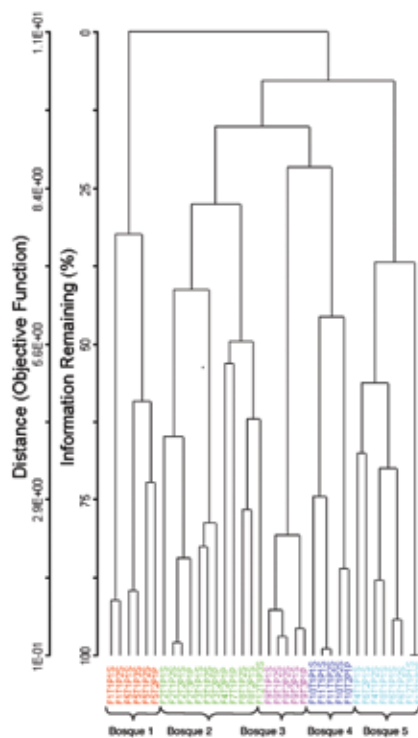
### Resultados

#### Determinación de tipos de bosque dentro del CBVCT

Los resultados del análisis de conglomerados se presentan en las figs. 3 y 4. Para ambos tamaños de parcelas, fue posible distinguir cinco tipos de bosques. Según el discriminante canónico, la altitud fue la variable con más peso discriminante en la determinación de los tipos de bosque; el ANDEVA confirmó el resultado del análisis anterior. Las variables pendiente y precipitación no mostraron diferencias entre tipos de bosque (Cuadro 2). Los bosques 3 y 4 fueron los de mayor edad y el bosque 4 se encuentra a mayores elevaciones que los demás tipos de bosque. El análisis de ordenación – NMS a nivel de las parcelas de 0,10 ha y 0,25 ha mostró la misma tendencia de agrupamiento de los cinco tipos de bosque identificados en el análisis multivariado.



**Figura 3.** Resultado del análisis de conglomerados en parcelas de 0,25 ha en bosques naturales del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca



**Figura 4.** Resultado del análisis de conglomerados en parcelas de 0,10 ha en bosques naturales del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

### Descripción florística de los tipos de bosque

Las especies más importantes por parcela y por tipo de bosque se determinaron con el IVI. Del análisis de especies indicadoras se muestran las cinco primeras especies con valor indicador estadísticamente significativo ( $p \leq 0.05$ ) según la prueba de Monte Carlo, para cada uno de los tipos de bosque (Cuadro 3).

Los grupos de especies indicadoras obtenidos para ambos tamaños de parcelas resultaron ser muy parecidos. Por lo tanto, en función de estos resultados, se definieron los siguientes cinco tipos de bosques:

- Bosque 1: *Clarisia biflora*, *Ocotea nicaragüensis* y *Rollinia pittieri* en un rango altitudinal de 415 a 753 msnm. En este bosque, las especies con mayor porcentaje de IVI

fueron: *Clethra mexicana*, *Rollinia pittieri*, *Cecropia insignis*, *Cordia alliodora* y *Virola koschnyi*.

- Bosque 2: *Vismia macrophylla*, *Vochysia allenii* y *Miconia punctata* en un rango altitudinal de 753 a 1012 msnm. Las especies con mayor porcentaje de IVI fueron: *Vismia macrophylla*, *Vochysia allenii*, *Tetrorchidium euryphyllum* y *Alsophila cuspidata*.

- Bosque 3: *Hampea appendiculata*, *Cecropia obtusifolia* y *Conostegia rufescens* en un rango altitudinal de 1012 a 1187 msnm. Este bosque muestra una mayor proporción de parcelas ubicadas en bosque secundario. Las especies con mayor porcentaje de IVI fueron: *Heliocarpus appendiculatus*, *Conostegia rufescens*, *Hampea appendiculata* e *Inga oerstediana*.

- Bosque 4: *Croton draco*, *Citharexylum caudatum* y *Cecropia peltata* en un rango altitudinal de 1275 a 1739 msnm. Igualmente, en este tipo de bosque hay una mayor proporción de parcelas ubicadas en bosque secundario. Las especies con mayor porcentaje de IVI fueron: *Cyathea microdonta*, *Cecropia peltata*, *Heliocarpus appendiculatus* e *Inga latipes*.

- Bosque 5: *Croton schiedeianus*, *Alfaroa costaricensis* y *Abarema idiopoda* en un rango altitudinal de 1187 a 1275 msnm. Las especies con mayor porcentaje de IVI fueron: *Cyathea microdonta*, *Alfaroa costaricensis*, *Croton schiedeianus* y *Miconia theizans*.

### Cuadro 2.

Valores promedio y error estándar para las variables ambientales por tipos de bosque identificados en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

Variables ambientales	Bosque 1	Bosque 2	Bosque 3	Bosque 4	Bosque 5	Pr > F
Edad (años)	23.33 ± 1.05 <b>b</b>	21.83 ± 0.79 <b>b</b>	30.00 ± 0.0 <b>a</b>	28.00 ± 1.22 <b>a</b>	22.25 ± 1.28 <b>b</b>	0.0001
Altitud (msnm)	584.67 ± 84.12 <b>d</b>	896.83 ± 57.29 <b>c</b>	1258.40 ± 33.31 <b>b</b>	1507.60 ± 109.05 <b>a</b>	1066.38 ± 28.71 <b>bc</b>	0.0001
Pendiente (%)	13.54 ± 2.01 <b>a</b>	13.78 ± 3.17 <b>a</b>	12.55 ± 4.92 <b>a</b>	10.56 ± 4.94 <b>a</b>	17.20 ± 3.08 <b>a</b>	0.8141
Precipit. (mm)	3211.60 ± 143.23 <b>a</b>	3348.50 ± 115.09 <b>a</b>	3027.10 ± 145.59 <b>a</b>	3124.70 ± 200.76 <b>a</b>	3180.40 ± 37.03 <b>a</b>	0.4592

Pr > F  $\alpha=0.05$ , Duncan  $\alpha=0.05$ , letras diferentes significa que los valores son estadísticamente diferentes

**Cuadro 3.**

Especies indicadoras por tipo de bosque, estadísticamente significativas para un  $p \leq 0.05$  para tamaños de parcelas de 0,25 ha y 0,10 ha

Parcelas de 0,25 ha				Parcelas de 0,10 ha			
Especies	Tipo bosque	Valor indicador	P	Especies	Tipo bosque	Valor indicador	P
<i>Clarisia biflora</i>	1	66.7	0.001	<i>Clarisia biflora</i>	1	66.7	0.001
<i>Ocotea nicaraguensis</i>	1	66.7	0.001	<i>Ocotea nicaraguensis</i>	1	66.7	0.001
<i>Rollinia pittieri</i>	1	66.7	0.001	<i>Iriartea deltoidea</i>	1	66.7	0.001
<i>Iriartea deltoidea</i>	1	66.7	0.002	<i>Rollinia pittieri</i>	1	66.7	0.002
<i>Clethra mexicana</i>	1	53.3	0.003	<i>Carapa guianensis</i>	1	50.0	0.003
<i>Vismia macrophylla</i>	2	85.7	0.001	<i>Hedyosmum bonplandianum</i>	2	41.1	0.029
<i>Miconia punctata</i>	2	71.4	0.001	<i>Vismia macrophylla</i>	2	41.7	0.030
<i>Vochysia allenii</i>	2	69.5	0.002	<i>Vochysia allenii</i>	2	39.3	0.041
<i>Simarouba amara</i>	2	60.6	0.003	<i>Hampea appendiculata</i>	3	82.5	0.001
<i>Jacaranda copaia</i>	2	57.1	0.003	<i>Inga oerstediana</i>	3	49.5	0.007
<i>Hampea appendiculata</i>	3	88.5	0.001	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	3	49.4	0.009
<i>Cecropia obtusifolia</i>	3	61.8	0.001	<i>Cecropia obtusifolia</i>	3	46.5	0.012
<i>Sapium pachystachys</i>	3	40.0	0.018	<i>Inga punctata</i>	3	41.5	0.038
<i>Conostegia rufescens</i>	3	38.2	0.026	<i>Piper palmanum</i>	4	56.1	0.001
<i>Inga punctata</i>	3	36.7	0.027	<i>Croton draco</i>	4	62.4	0.002
<i>Citharexylum caudatum</i>	4	60.0	0.002	<i>Citharexylum caudatum</i>	4	60.0	0.002
<i>Croton draco</i>	4	57.5	0.002	<i>Cecropia peltata</i>	4	61.5	0.004
<i>Cecropia peltata</i>	4	63.2	0.003	<i>Miconia trinervia</i>	4	48.8	0.010
<i>Cedrela tonduzii</i>	4	59.2	0.003	<i>Miconia sp. 01</i>	5	100.0	0.001
<i>Miconia trinervia</i>	4	47.3	0.005	<i>Inga pezizifera</i>	5	95.3	0.001
<i>Croton schiedeanus</i>	5	58.8	0.002	<i>Croton schiedeanus</i>	5	83.0	0.001
<i>Alfaroa costaricensis</i>	5	50.0	0.008	<i>Abarema idiopoda</i>	5	80.0	0.001
<i>Licania sparsipilis</i>	5	37.5	0.015	<i>Alfaroa costaricensis</i>	5	80.0	0.001
<i>Abarema idiopoda</i>	5	37.5	0.017				
<i>Inga pezizifera</i>	5	49.1	0.019				

### Análisis estructural, diversidad y riqueza en los cinco tipos de bosque

En cuanto al número total de individuos, el ANDEVA mostró diferencias estadísticas sólo a nivel de la parcela de 0,10 ha. Para este tamaño de parcela, el bosque 5 tuvo en promedio más individuos ( $1100 \pm 90$ ) por hectárea que los demás bosques (Cuadro 4). El área basal mostró

diferencias significativas en los dos tamaños de parcelas; el bosque 4 tuvo el mayor promedio de área basal ( $21,55 \pm 2,73$  para la parcela de 0,25 ha y  $33,00 \pm 1,92$  para la parcela de 0,10 ha) (Cuadros 5a y 5b).

Con respecto al análisis de riqueza en la parcela de 0,25 ha, el bosque 1 es el que tiene la mayor riqueza de especies y los bosques 2 y 3 la más baja (Cuadro 6a). En la parcela de

0,10 ha, los bosques 5 y 1 son los que tienen mayor riqueza de especies y el bosque 3 la menor (Cuadro 6b). De acuerdo con los índices  $\alpha$  de Fisher y Shannon, el bosque 1 es el más diverso para los dos tamaños de parcela. Para el índice de Simpson se consideró una probabilidad del 10% ( $\alpha = 0.1$ ) para explicar las diferencias estadísticas establecidas; aquí también el bosque 1 resultó ser



**Cuadro 4.**

Promedios y error estándar del número de individuos (N/ha), para los cinco tipos de bosque en parcelas de 0,10 ha considerando árboles con un dap  $\geq 10$  cm

	Bosque 1 N/ha	Bosque 2 N/ha	Bosque 3 N/ha	Bosque 4 N/ha	Bosque 5 N/ha	Pr > F
<b>Total (N)</b>	536.00 $\pm$ 60.97 c	661.25 $\pm$ 53.99 bc	480.00 $\pm$ 52.85 c	757.50 $\pm$ 101.36 b	1100.00 $\pm$ 90.00 a	0.0001

ANDEVA Pr > F  $\alpha=0.05$ , Duncan  $\alpha=0.05$ ; letras diferentes significa que los valores son estadísticamente diferentes.

**Cuadro 5.**

Promedios y error estándar de áreas basales G (m<sup>2</sup>/ha), para los cinco tipos de bosque

a) parcelas de 0,25 ha considerando árboles con dap  $\geq 20$  cm

b) parcelas de 0,10 ha considerando árboles con dap  $\geq 10$  cm

a)

	Bosque 1 G (m <sup>2</sup> /ha)	Bosque 2 G (m <sup>2</sup> /ha)	Bosque 3 G (m <sup>2</sup> /ha)	Bosque 4 G (m <sup>2</sup> /ha)	Bosque 5 G (m <sup>2</sup> /ha)	Pr > F
<b>Total (G)</b>	20.897 $\pm$ 2.07 a	12.378 $\pm$ 2.61 b	12.837 $\pm$ 1.98 b	21.548 $\pm$ 2.73 a	18.733 $\pm$ 2.96 ab	0.0320

b)

	Bosque 1 G (m <sup>2</sup> /ha)	Bosque 2 G (m <sup>2</sup> /ha)	Bosque 3 G (m <sup>2</sup> /ha)	Bosque 4 G (m <sup>2</sup> /ha)	Bosque 5 G (m <sup>2</sup> /ha)	Pr > F
<b>Total (G)</b>	25.859 $\pm$ 2.19 ab	23.898 $\pm$ 3.45 b	14.817 $\pm$ 1.14 c	33.00 $\pm$ 1.92 a	28.681 $\pm$ 3.38 ab	0.0011

ANDEVA Pr > F  $\alpha=0.05$ , Duncan  $\alpha=0.05$ ; letras diferentes significa que los valores son estadísticamente diferentes.

**Cuadro 6.**

Promedio y error estándar para índices de diversidad, equidad y número de especies para los cinco tipos de bosque

a) parcelas de 0,25 ha

b) parcelas de 0,10 ha

a)

Indice	Bosque 1	Bosque 2	Bosque 3	Bosque 4	Bosque 5	Pr > F
$\alpha$ Fisher	24.32 $\pm$ 3.85 a	6.06 $\pm$ 1.32 b	8.26 $\pm$ 1.58 b	12.39 $\pm$ 2.51 b	10.98 $\pm$ 3.17 b	0.0004
Shannon	3.09 $\pm$ 0.11 a	1.89 $\pm$ 0.30 c	2.14 $\pm$ 0.16 bc	2.66 $\pm$ 0.18 ab	2.50 $\pm$ 0.25 abc	0.0062
Simpson	0.04 $\pm$ 0.00 b	0.26 $\pm$ 0.11 a	0.17 $\pm$ 0.04 ab	0.08 $\pm$ 0.02 ab	0.11 $\pm$ 0.03 ab	0.0965
Equidad	0.65 $\pm$ 0.00 a	0.51 $\pm$ 0.06 b	0.57 $\pm$ 0.02 ab	0.61 $\pm$ 0.01 ab	0.58 $\pm$ 0.02 ab	0.0762
Especies	28.20 $\pm$ 3.06 a	13.00 $\pm$ 2.24 b	14.80 $\pm$ 2.19 b	22.00 $\pm$ 4.38 ab	20.60 $\pm$ 3.96 ab	0.0136

b)

Indice	Bosque 1	Bosque 2	Bosque 3	Bosque 4	Bosque 5	Pr > F
$\alpha$ Fisher	28.53 $\pm$ 7.58 a	10.48 $\pm$ 2.80 b	8.33 $\pm$ 1.68 b	10.28 $\pm$ 1.64 b	13.76 $\pm$ 4.45 b	0.0088
Shannon	3.02 $\pm$ 0.11 a	2.34 $\pm$ 0.19 b	2.29 $\pm$ 0.12 b	2.55 $\pm$ 0.21 ab	2.85 $\pm$ 0.18 ab	0.0228
Simpson	0.05 $\pm$ 0.01 b	0.15 $\pm$ 0.03 a	0.12 $\pm$ 0.02 ab	0.11 $\pm$ 0.04 ab	0.07 $\pm$ 0.01 ab	0.0662
Equidad	0.64 $\pm$ 0.01 a	0.56 $\pm$ 0.02 a	0.59 $\pm$ 0.02 a	0.58 $\pm$ 0.03 a	0.59 $\pm$ 0.01 a	0.1346
Especies	27.40 $\pm$ 3.01 a	19.00 $\pm$ 3.05 ab	14.75 $\pm$ 1.60 b	21.25 $\pm$ 2.29 ab	28.75 $\pm$ 5.28 a	0.0154

ANDEVA Pr > F  $\alpha=0.05$ , Duncan  $\alpha=0.05$ ; letras diferentes significa que los valores son estadísticamente diferentes.

el más diverso. El índice de equidad a una probabilidad del 10% muestra diferencia estadística sólo en la parcela de 0,25 ha, en donde el bosque 1 presenta una mayor equidad (distribución más homogénea de individuos por especies) que el bosque 2 (Cuadros 6a y 6b).

#### Elaboración del mapa preliminar de distribución potencial de tipos de bosque

En este estudio solo se muestreó la cobertura vegetal natural en un rango altitudinal de 400 a 1800 msnm. El mapa preliminar mostró que el 19% de la cobertura boscosa potencialmente corresponde al bosque 1, el 25% al bosque 2, el 19% al bosque 3, el 9% al bosque 4, el 21% al bosque 5 y el 7% restante no fue muestreado. El bosque 2, el de mayor extensión, se ubica en la zona sur del corredor principalmente, mientras que el de menor extensión - el bosque 4 - se distribuye como bosque ribereño en la zona norte del corredor, con núcleos de cobertura boscosa en la zona sur (Fig. 5).

La composición florística de la cobertura vegetal natural en el CBVCT se relacionó principalmente con la altitud, la variable ambiental que más explica las diferencias entre los bosques del corredor.

#### Discusión

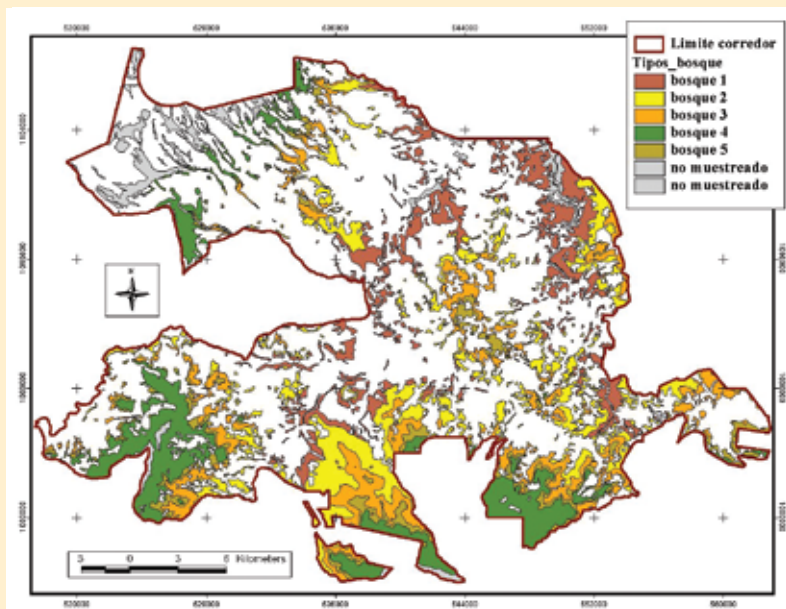
La composición florística de la cobertura vegetal natural en el CBVCT se relacionó principalmente con la altitud, la variable ambiental que más explica las diferencias entre los bosques del corredor. En Costa Rica, la vegetación de las cordilleras no sólo es rica y diversa, aun en sus partes más altas, sino que sus elevaciones medias contienen la flora de mayor importancia taxonómica y fitogeográfica (Gómez 1986 citado por Hammel et ál. 2004). Para la vertiente del Caribe, los

límites florísticamente más diversos se encuentran entre 500 y 1500 msnm (Gómez 1986 citado por Hammel et ál. 2004).

La aplicación de los análisis estadísticos (multivariado y de ordenación) contribuyeron con resultados importantes para la identificación de los tipos de bosques. Ambos análisis definieron el agrupamiento y explicaron la ordenación de las especies y su relación con las parcelas. Para los análisis multivariados se necesita de la experiencia de los investigadores para poder definir la tipificación con base en las conocidas interacciones entre composición y sustrato a nivel de campo (Mateucci y Colma 1982, Krebs 1997). Estas metodologías para la clasificación y ordenación de la vegetación vienen siendo utilizadas muy a menudo en diferentes estudios ya que sus aplicaciones son diversas; ver por ejemplo, Ramos (2004), Bonifaz (2003), Serrano (2003), Pérez (2000) y Gallo (1999).

Los bosques identificados fueron nombrados por las especies indicadoras más representativas y dominantes al igual que lo hicieron (Ramos 2004 y Gallego 2002). Las parcelas muestreadas en bosque primario y secundario no se diferenciaron en cuanto a composición florística, probablemente debido a la cercanía entre unas y otras. Se considera que por efecto del viento, gravedad y otros vectores dispersores, la dispersión de semillas desde la fuente en el bosque primario llega hasta el bosque secundario, haciendo similares sus composiciones.

Guariguata et ál. (2001) señalan que hay una secuencia de acontecimientos y procesos que ocurren durante la sucesión secundaria. Esta secuencia comienza con la colonización inicial del sitio por especies pioneras y especies del sotobosque hasta culminar finalmente con una composición de especies similares a las del bosque maduro. Esta secuencia de acontecimientos ocurre en todas las sucesiones.



**Figura 5.** Mapa preliminar de distribución potencial de los cinco tipos de bosque, obtenidos a partir de la caracterización de la cobertura vegetal en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca



El Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca presenta al menos cinco tipos de bosque secundario de acuerdo a la composición florística que presentan

Las características estructurales del bosque secundario tropical húmedo rápidamente pueden acercarse a las de un bosque maduro cuando el uso de la tierra no ha sido sumamente intensivo, aunque no así las características de composición (Guariguata et ál. 1997). Los bosques 1 y 5 muestran una alta riqueza y diversidad de especies, lo que se explica por el hecho de que las parcelas que conforman estos tipos de bosque se distribuyeron sobre una superficie más grande, permitiendo el cambio de composición de especies entre parcelas (diversidad  $\beta$ ). El bosque 5 también mostró la mayor densidad de individuos; indudablemente, esto demuestra la importancia de la conservación y manejo sostenible de estas comunidades vegetales para el corredor y la región.

La composición florística y el análisis estructural de la vegetación natural proporcionaron elementos importantes para la conservación de estos recursos en el CBVCT. El 40% del área del corredor (72.000 ha) corresponde a cobertura bosco-

sa. Si bien tal cobertura no alcanza ni la mitad del territorio, es muy relevante como objeto de conservación en el área por varias razones. 1) La presencia de numerosas especies endémicas (*Abarema racemiflora*, *Croton megistocarpus*, *Inga latines*, *Maytenus recondita*, *Povedadaphne quadriporata*); 2) la presencia de especies escasas o raras (*Cornus peruviana*, *Couepia platycalyx*, *Esenbeckia pentaphylla*); 3) especies registradas por primera vez para la vertiente del Caribe (*Licania sparsipilis*, *Macrohasseltia macroterantha*, *Maytenus recondita*, *Miconia dolichorrhynchia*, *Miconia holosericea*, *Ocotea pullifolia*, *Gimnanthes riparia*, *Salacia petenensis*, *Pouteria juruana*). Todo ello trae implicaciones prácticas para el manejo de la vegetación natural<sup>8</sup>. Así, la estrategia del corredor deberá en principio procurar la conservación de muestras representativas de las comunidades naturales caracterizadas y también orientar esfuerzos que contribuyan a mejorar el uso de la tierra con actividades

más amigables con el ambiente. Se hace énfasis en que la información a partir de la caracterización de los cinco tipos de bosque con sus respectivas especies indicadoras puede ser útil para efectos de conservación de la biodiversidad y orientación de futuros trabajos que busquen fortalecer la gestión del corredor.

## Conclusiones


- Desde el punto de vista de biodiversidad a nivel de ecosistemas se tiene que el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, presenta al menos cinco tipos de bosque secundario de acuerdo a la composición florística que presentan.
- Los principales patrones de distribución de los cinco tipos de bosque en el corredor está asociada principalmente a la variable altitud.
- Los bosques 1 (*Clarisia biflora*, *Ocotea nicaragüensis* y *Rollinia pittieri*) y 5 (*Croton schiedeanus*, *Alfaroa costaricensis* y *Abarema idiopoda*) son los de mayor riqueza y diversidad de especies. El bosque 5, presenta la mayor densidad de individuos por hectárea, mientras que el bosque 4 (*Croton draco*, *Citharexylum caudatum* y *Cecropia peltata*), resultó ser el de mayor área basal, lo cual da una idea sobre el estado de la sucesión y por consiguiente, de la recuperación de las coberturas que han sido afectadas antrópicamente.
- Desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad, estos cinco tipos de bosque son importantes para el corredor. El bosque 1 con mayor riqueza y diversidad se encuentra representado en un 19% de la cobertura boscosa, mientras que el bosque 4 con un 9% de la cobertura boscosa, es el que presenta menor área dentro del corredor.

<sup>8</sup> Nelson Zamora. Agosto, 2006. Botánico, Curador Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio). Comunicación escrita de las especies encontradas en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

## Recomendaciones

■ En próximos estudios de investigación en la zona se debieran realizar muestreos en las áreas cuyos rangos altitudinales (<400 msnm y >1800 msnm) no fueron abordados por este estudio, con la finalidad de determinar si existe un tipo de bosque distinto a las cinco comunidades vegetales encontradas.

■ El presente estudio a escala de paisaje contribuye de manera preliminar al conocimiento de los tipos de bosques en el CBVCT; queda la tarea de mantener y proteger muestras representativas de estas comunidades vegetales naturales acorde con una planificación del recurso en la zona. Una alternativa viable sería establecer cier-

tas categorías de áreas protegidas al interior del corredor a través de esfuerzos públicos o privados, así como mecanismos de pago por servicios ambientales, entre otras iniciativas de conservación. 

## Literatura consultada

- Barrett, GW; Bohlen, PJ. 1991. Landscape ecology. In Hudson, WE. Landscape linkages and biodiversity. Washington, DC, Island Press. p. 149-161.
- Beier, P; Noss, RF. 1998. Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12(6):1241-1250.
- Bennett, AF. 1999. Linkages in the landscape. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. Gland, Suiza / Cambridge, UK, IUCN. 254 p.
- Bonifaz, C. 2003. Caracterización florística de dos sitios en el bosque húmedo costero cabecera de Muisne, Esmeraldas - Ecuador. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 78 p.
- Canet, L. 2003. Ficha técnica del Corredor Biológico Turrialba - Jiménez. San José, CR, Minae. 75 p.
- Colwell, RK. 1997. Statistical estimation of species richness and shared species from samples. V. 5.0.1 (en línea). University Connecticut. Disponible en <http://www.viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Crist, JP; Kohley, WT; Oakleaf, J. 2000. Assessing land-use impacts on biodiversity using an expert systems tool. *Landscape Ecology* 15:47-62.
- Finegan, B; Palacios, W; Zamora, N; Delgado, D. 2001. Ecosystem-level forest biodiversity and sustainability assessments for forest management. In Raison, RJ; Brown, AG; Flinn, DW. Criteria and indicators for sustainable forest management. Vienna, AT, CABI Publishing/IUFRO. p. 341-378.
- Forman, RTT; Godron, M. 1981. Patches and structural components for landscape ecology. *BioScience* 31(10):733-740.
- Gallego, B. 2002. Estructura y composición de un paisaje fragmentado y su relación con especies indicadoras en una zona de bosque muy húmedo tropical, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.
- Gallo, M. 1999. Identificación de tipos de bosques primarios en la Zona Norte de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 65 p.
- García, H. 2002. Biología de la conservación: conceptos y prácticas. Heredia, CR, INBio. 166 p.
- Guariguata, MR; Chazdon, RL; Denslow, JS; Dupuy, JM; Anderson, L. 1997. Structure and floristic of secondary and old-growth forest stands in lowland Costa Rica. *Plant Ecology* 132:107-120.
- ; Kattan, GH. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago, CR. EULAC/GTZ. 691 p.
- ; Ostertag, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148:185-206.
- Hammel, BE; Grayum, MH; Herrera, C; Zamora, N. 2004. Manual de plantas de Costa Rica. Missouri Botanical Garden Press. Volumen I. 299 p.
- Hector, TS; Carr, MH; Zwick, PD. 2000. Identifying a linked reserve system using a regional landscape approach: The Florida Ecological Network. *Conservation Biology* 14(4):984-1000.
- Holdridge, LR. 1987. Ecología basada en zonas de vida. San José, CR, IICA.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 1975. Catastro de las series de precipitaciones medidas en Costa Rica. San José, CR, Proyecto Servicio Hidrológico y Meteorológico - Instituto Costarricense de Electricidad. 445 p.
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2004. Atlas de Costa Rica (en línea). Consultado el 12-11-2004. <http://www.esri.com/software/arceexplorer/aedown/oaad.html>.
- Jennings, MD. 2000. Gap analysis: concepts, methods, and recent results. *Landscape Ecology* 15:5-20.
- Kattan, GH. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. In Guariguata, MR; Kattan, GH. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago, CR. EULAC/GTZ. p 561-590.
- Krebs, CJ. 1997. Ecological methodology. University of British Columbia, 2 ed. 607 p.
- Magurran, AE. 1989. Diversidad ecológica y su medida. Barcelona, ES, ed. Vedral. 200 p.
- Matteucci, SD; Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. New York, US, OEA. 163 p.
- McCune, B; Grace, JB. 2002. Analysis of ecological communities. Glenden Beach, Oregon, US, Software Design. 300 p.
- ; Mefford, MJ. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data Version 4. MjM Glenden Beach, Oregon, US, Software Design. 237 p.
- Metzger, JP. 2000. Tree functional group richness and landscape structure in Brazilian tropical fragmented landscape. *Ecological Applications* 10(4):1147-1161.
- Murrieta, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central - Talamanca. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.
- Noss, RF. 1996. Ecosystems as conservation targets. *Trends in Ecology and Evolution* 11:351.
- Pérez, MA. 2000. Fitosociología de los bosques de la Región Autónoma del Atlántico Norte Nicaragüense, una base para el manejo sostenible. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 130 p.
- Ramos B, ZS. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 114 p.
- Rosenberg, DK; Noon, BR; Meslow, EC. 1997. Biological corridors: form, function, and efficacy. *Bioscience* 47(10):677-687.
- Sanderson, EW; Redford, KH; Vedder, A; Coppolillo, PB; Ward, SE. 2002. A conceptual model for conservation planning based on landscape species requirements. *Landscape and Urban Planning* 58:41-56.
- Serrano, M. 2003. Estructura y composición de bosques montanos subtropicales y sus implicaciones para la conservación y el manejo de los recursos forestales en la serranía del Itiño, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 142 p.
- Tabarelli, M; Mantovani, W; Peres, CA. 1999. Effects of habitats fragmentation on plant guild structure in montage Atlantic Forest of southeastern of Brazil. *Biological Conservation* 91:119-127.
- Tuomisto, H. 1993. La vegetación de terrenos no inundables (tierra firme) en la selva baja de la Amazonía peruana. In Kalliola, R; Puhakka, M; Danjoy, W. (eds.). Amazonía peruana. Jyväskylä, FI, PAUT / ONERN. p. 139-153.

# Propuesta para una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica<sup>1</sup>

**Eduardo Murrieta<sup>2</sup>; Bryan Finegan<sup>3</sup>;  
Diego Delgado<sup>4</sup>; Róger Villalobos<sup>5</sup>;  
José Joaquín Campos<sup>6</sup>**

La propuesta para la creación de una red de conectividad ecológica en el CBVCT constituye una herramienta estratégica para la conservación de la biodiversidad, ya que toma en cuenta la priorización de áreas para mantener o aumentar la conectividad entre los remanentes de bosques naturales. Esta propuesta debe enmarcarse dentro de un enfoque de manejo de paisaje, por lo que debe ser considerada como información base para la planificación de los recursos en el corredor.



Fotos: Eduardo Murrieta.

<sup>1</sup> Basado en Murrieta, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central - Talamanca. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.  
<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, CATIE. murrieta@catie.ac.cr  
<sup>3</sup> Grupo Bosques, Áreas Protegidas y Biodiversidad, CATIE. bfinegan@catie.ac.cr  
<sup>4</sup> Grupo Bosques, Áreas Protegidas y Biodiversidad, CATIE. ddelgado@catie.ac.cr  
<sup>5</sup> Cátedra Latinoamericana de Gestión de Territorios Forestales, CATIE. rvillalo@catie.ac.cr  
<sup>6</sup> Cátedra Latinoamericana de Gestión de Territorios Forestales, CATIE. jcampos@catie.ac.cr

## Resumen

Se realizó un análisis a escala de paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT), Costa Rica y se elaboró una propuesta de red de conectividad ecológica que tomó en cuenta los tipos de bosque natural existentes. El análisis a escala de paisaje muestra que el corredor se encuentra altamente fragmentado, con un 40% de cobertura boscosa seguida de los usos pasto y café. A partir de los resultados obtenidos con el análisis multicriterio en un taller de expertos, se priorizaron áreas para la conservación según su contribución a la conectividad estructural en el corredor. También se realizó un análisis de vacíos para determinar la representación y protección de los tipos de bosques en las áreas silvestres protegidas y las áreas núcleos priorizadas para la conservación. Se encontró que la protección legal a los cinco tipos de bosque en el área protegida ubicada dentro del corredor es mínima. Para el modelaje de las redes de conectividad ecológica se utilizaron las áreas priorizadas para la conservación y un mapa de fricción. Mediante el SIG se desarrollaron cinco escenarios de redes de conectividad ecológica, tomando en cuenta las rutas de conexión más cortas. Las trayectorias diseñadas muestran similitudes; se identificaron nueve zonas prioritarias para la conectividad, tomando en cuenta la existencia y extensión de cobertura vegetal natural, tipos de bosque y otros usos en el CBVCT.

**Palabras claves:** Bosque natural; paisajismo; corredor biológico; fragmentación del bosque; cobertura vegetal; red de conectividad ecológica; Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca; Costa Rica.

## Summary

**Proposal for an ecological connectivity network in the Volcánica Central Talamanca Biological Corridor, Costa Rica.** A landscape scale analysis was carried out in the Volcanica Central Talamanca Biological Corridor (CBVCT, for its acronym in Spanish), in Costa Rica, to define a proposal for the creation of an ecological connectivity network, considering the existing types of natural forest. The landscape scale analysis showed that the corridor is highly fragmented, with 40% forest cover followed by pasture and coffee. Conservation areas were prioritized by means of a multi-criteria analysis during a workshop with experts and local dwellers. Priority was defined as the contribution of the area to the corridor's structural connectivity. A gap analysis was also conducted in order to determine the representation and protection of forest types in protected areas and core areas prioritized for conservation. This analysis showed a minimum legal protection of forest types in the protected area within the corridor. For modelling the ecological connectivity network, conservation priority areas and a friction map were used. With GIS, five ecological connectivity network scenarios were developed considering the shortest connectivity routes. All five routes show similarities; nine priority zones for connectivity were identified taking into account the natural vegetation cover, types of forests and other land uses in the CBVCT.

**Keywords:** Natural forest; landscape; biological corridor; fragmentation; vegetal cover; ecological connectivity network; Biological Corridor Volcanica Central Talamanca; Costa Rica.

## Introducción

Las consecuencias ecológicas de la fragmentación del hábitat incluyen los efectos directos de pérdida de hábitat y el aislamiento de las poblaciones que contienen. Los parches de hábitat que sobreviven al proceso de fragmentación se encuentran cada vez más aislados unos de otros y esto puede causar una disminución en la funcionalidad de las especies. La conectividad de paisajes es considerada como un elemento vital de la estructura de paisaje debido a su importancia para la supervivencia de especies (D'Eon et ál. 2002) y es definida como el grado en el cual un paisaje facilita o impide el movimiento de organismos entre diferentes parches de hábitat (Tischendorf y Fahrig 2000).

El estudio de la conectividad estructural del paisaje emplea herramientas como software en sistemas de información geográfica (SIG) y métodos participativos sociales (Bocco et ál. 2001). Estos métodos participativos se relacionan principalmente con la aplicación del análisis multicriterio. Este se ha convertido en una técnica valiosa para lidiar con condiciones multivariadas complejas en un amplio rango de campos de toma de decisión para el manejo de recursos naturales. A pesar de que las técnicas de análisis multicriterio utilizando SIG pueden ser desarrolladas de manera mecánica y rudimentaria, el proceso completo involucra toma de decisiones basadas en valores de juicio; tal información proviene de los diferentes actores interesados e involucrados en el tema tratado (Van der Merwe y Lohrentz 2001).

Para estudios de conectividad estructural a nivel de paisaje es importante también identificar los tipos de vegetación y especies que no están adecuadamente representados en sistemas específicos de áreas con manejo. Esto puede abordarse a partir de lo que se ha denominado

análisis de vacíos '*gap analysis*' (Kiestler et ál. 1996). Un análisis de este tipo parte de un mapa de la vegetación existente en el sitio y, con la ayuda del SIG, se determina el grado de protección y representación de los tipos de vegetación en las áreas protegidas (Caicco et ál. 1995). Este análisis es la primera etapa en la planificación de la protección de la diversidad biológica, ya que permite identificar las áreas de alta prioridad para la conservación. Una vez que estas prioridades han sido establecidas, otros enfoques de investigación de biología de la conservación pueden ayudar a determinar patrones de conservación y acciones necesarias para mantener poblaciones viables y procesos de ecosistemas (Caicco et ál. 1995).

El presente estudio se realizó dentro del área del corredor biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT), Costa Rica. El CBVCT representa una estrategia de conservación para restablecer y mantener la conectividad biológica entre las áreas silvestres protegidas parque nacional Volcán Turrialba, monumento nacional Guayabo, zona protectora de la cuenca del río Tuis y refugio privado de vida silvestre La Marta. A la vez, constituye un mecanismo para incorporar incentivos para el manejo y conservación de los recursos naturales al interior del corredor (Canet 2003).

Con este estudio se pretende contribuir al conocimiento y consolidación del manejo del paisaje al interior del CBVCT, por medio de una propuesta de red de conectividad ecológica que tome en cuenta las características de estructura y composición del paisaje, a fin de identificar y priorizar áreas potenciales para la conservación y/o recuperación de la cobertura boscosa, de tal forma que se incrementen las funciones de conectividad entre los fragmentos de hábitat naturales. La red de conectividad propuesta considera los tipos de bosque natural

dentro del CBVCT, e incluye un análisis de vacíos.

## Metodología

El CBVCT tiene una extensión aproximada de 72.000 ha dentro del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCVC) y se encuentra ubicado en la provincia de Cartago. Su rango altitudinal va desde los 339 msnm en el distrito de Peralta hasta los 3340 msnm en el parque nacional Volcán Turrialba (Canet 2003). El corredor limita al norte con el parque nacional Volcán Turrialba y la reserva forestal Cordillera Volcánica Central, al oeste con la ciudad de Turrialba, al sur con el parque nacional Tapantí Macizo de la Muerte, el refugio privado de vida silvestre La Marta y la zona protectora de la cuenca del río Tuis, y al este con la reserva indígena Cabecar (ver Fig. 1 en Murrieta et ál. pág. 57 en este mismo número).

Las condiciones climáticas que imperan en el CBVCT están influenciadas por el sistema de vientos alisios que ingresan desde la vertiente del Caribe y que aportan el total de la humedad que se distribuye en toda la Cordillera Volcánica Central. El sistema montañoso de la zona proporciona la formación de masas nubosas. La distribución de las lluvias es uniforme a lo largo del año; la precipitación anual es de 2650 mm en la zona norte y centro del CBVCT y de 6000 mm en la zona sur (Janzen 1991, citado por Canet 2003).

Según la clasificación de Holdridge (1987) el CBVCT presenta siete zonas de vida y tres transiciones. La cobertura boscosa está dominada por bosques secundarios con fragmentos de bosque primario (ver Murrieta et ál. pág. 57 en este mismo número). Todos estos sitios colindan con áreas protegidas de diversas categorías. También se dan otros usos del suelo como café, pasto y caña de azúcar. Las zonas de uso mixto predominan sobre las áreas de uso urbano.

## Análisis a escala de paisaje del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

Para el análisis de paisaje y los demás productos en SIG se utilizó el mapa de uso actual de la tierra (Fig. 1), que se analizó con el programa Fragstats (McGarigal et ál. 2002). Este mapa considera catorce categorías de usos del paisaje y se originó en una interpretación visual a escala 1:15000, considerando 0.75 ha como unidad mínima de mapeo. Asimismo, hay tres categorías de órdenes de suelo predominantes al interior del área de estudio: Andisoles e Inceptisoles en la parte norte y centro del corredor y Ultisoles en la parte sur del corredor<sup>7</sup>.

La fragmentación del CBVCT es evidente, por lo que se realizó un análisis de los índices más comunes a fin de explicar el grado de fragmentación (Fig. 1). Este análisis se realizó en dos niveles: paisaje y clases de parches. En ambos casos se consideraron índices como área total de parches, densidad, número de parches, área de borde, forma de parche, área núcleo, aislamiento/proximidad, división, contagio e interspersión y dispersión (McGarigal y Marks 1995).

### Análisis de vacíos

El objetivo del análisis de vacíos (*gap*) fue determinar qué elementos (tipos de vegetación) no están representados o están pobremente representados en las áreas silvestres protegidas del corredor. En este análisis se incluyeron las áreas silvestres protegidas dentro del corredor, los núcleos prioritarios de conservación de cobertura boscosa determinados mediante un taller de priorización de áreas para la conservación, y la cobertura potencial de tipos de bosque (Murrieta 2006). Para el Monumento Nacional Guayabo (MNG) y los núcleos de cobertura boscosa, se hizo una superposición con la cobertura potencial de tipos

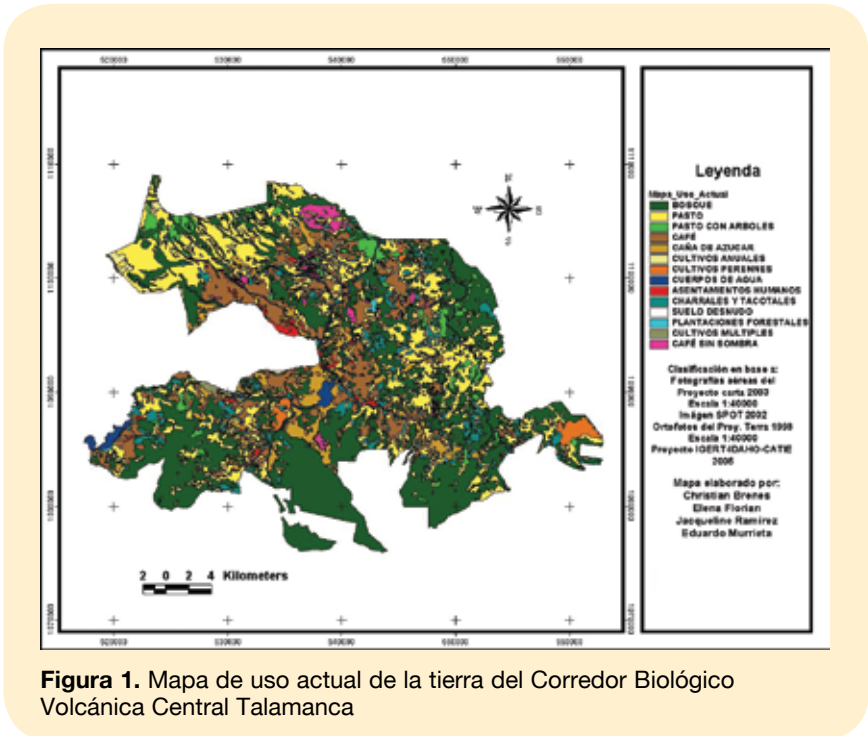


Figura 1. Mapa de uso actual de la tierra del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

de bosque con el fin de determinar cuáles de las cinco comunidades de tipos de bosque se encuentran representadas y protegidas en el interior del CBVCT, y en qué proporción.

### Análisis de conectividad ecológica

Para este análisis se utilizó la metodología empleada en Florida (E.U.) para establecer una red de conectividad estructural (Hoctor et ál. 2000). Ramos y Finegan (2007) emplearon la misma metodología para establecer un escenario de red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico San Juan-La Selva, en Costa Rica. En este estudio se siguieron tres fases: a) ponderación de variables físico-ambientales a escala de valores prioritarios relacionadas con las áreas de cobertura boscosa, b) identificación y selección de los núcleos prioritarios a conectar a partir de las ponderaciones establecidas, c) desarrollo de modelos de redes de conectividad ecológica en el CBVCT.

### Fase 1

En un taller que contó con la participación de expertos y conocedores locales del CBVCT se analizaron, mediante el análisis multicriterio, cinco variables físico-ambientales: pendiente, distancia a caminos, distancia a ríos, área interior de cobertura boscosa y tipos de bosque. En total se conformaron cinco grupos, dos con técnicos y profesionales (técnico 1 y técnico 2) y tres con pobladores locales (local 1, local 2 y local 3). El trabajo consistió en asignar ponderaciones y escala de valores a dichas variables, tomando en cuenta criterios de amenaza, calidad de hábitat e importancia para la conservación.

Cada grupo asignó un valor en porcentaje de prioridad e importancia para la conservación a cada variable, de tal manera que todas sumaran el 100%. Posteriormente, para crear una escala de valores para cada una de las variables, se hizo el mismo ejercicio pero asignando los valores de 1 a 3, en donde el valor 1 corresponde a prioridades

<sup>7</sup> Leigh Winowiecki. Noviembre 2005. Estudiante de Doctorado, CATIE. Comunicación personal.



más bajas para la conservación, el valor 2 a prioridades medias y el valor 3 a prioridades altas.

Los criterios tomados en cuenta para calificar los polígonos con cobertura boscosa para cada una de las variables analizadas en el taller fueron:

- **Pendiente**, el supuesto considerado fue que a menor pendiente mayor la vulnerabilidad a la ocupación humana, lo cual hace posible que un área con cobertura boscosa sea más susceptible a la deforestación. Para esta variable se definió la escala de valores como vulnerabilidad alta (1), vulnerabilidad media (2) y vulnerabilidad baja (3).
- **Distancia a caminos**, según el supuesto de que cuanto más cerca del camino esté el bosque, más vulnerable será a la intervención humana. Se usó la misma escala que para pendiente.
- **Distancia a ríos**, el supuesto considerado fue que cuanto más cerca esté el bosque del río, más alto será el valor para la protección del recurso; la escala de valores estuvo dada como protección baja (1), protección media (2) y protección alta (3).
- **Área interior**, el supuesto considerado fue que entre más grande el parche más prioritario para la conservación, la escala de valores fue: prioridad baja (1) para parches pequeños, prioridad media (2) para parches medianos y prioridad alta (3) para parches grandes. A cada parche de bosque se asignó una distancia de 100 m a partir del borde de parche hacia el interior del mismo, para obtener todos los polígonos con sus respectivas áreas interiores.
- **Tipo de bosque**, definido por el criterio de conservar muestras representativas de los cinco tipos de bosque identificados por Murrieta et ál. (pág. 57 en este mismo número). Se asignaron los mismos valores que para área interior.

Los valores establecidos en el taller para las cinco variables se sumaron con el programa SIG Arc View 3.3, extensión Model Builder, para obtener las áreas de cobertura boscosa con mayores valores de priorización.

#### **Fase 2**

Después de la suma de las cinco variables y a partir del uso del SIG, se definieron cinco modelos con base en los resultados de las ponderaciones y escalas de valores asignados en el taller. Luego se seleccionaron los núcleos de más de 2 ha con las más altas prioridades; se tomó como referencia este tamaño mínimo por la definición de bosque dada en la Ley Forestal 7575 de Costa Rica.

#### **Fase 3**

Esta fase consistió en realizar el modelaje de las rutas de conectividad ecológica. Así, se definieron las rutas más cortas que conectasen los parches de bosque seleccionados como prioritarios en la fase 2. Se utilizó el Arc View con las extensiones Cost Distance y su función Cost Path. Para el desarrollo de esta fase hubo la necesidad de establecer en gabinete una capa de fricción a partir del mapa de uso actual del CBVCT. Los valores más altos de fricción correspondieron a los usos que más resistencia ofrecen a la dispersión de organismos (pastizales y asentamientos humanos), y los valores de fricción más bajos a los usos que menos resistencia ofrecen a la dispersión de organismos (bosques). Las redes de conectividad ecológica en el CBVCT se trazaron después de haber definido la capa de fricción y considerando la priorización de núcleos obtenidas las fases 1 y 2.

De los cinco escenarios de redes, se seleccionaron los dos que mostraban las mayores diferencias de recorrido, con la finalidad de hacer un análisis comparativo. A partir de las redes de conectividad ecológica, se identificaron varios sectores

prioritarios para la conservación, tomando como criterios de selección a) la presencia de grandes extensiones de usos de suelo por donde se desplaza la red de conectividad, b) los sectores donde se ubican las mayores coberturas boscosas, y c) la ubicación de los tipos de bosque caracterizados en el corredor.

## **Resultados y discusión**

### **Análisis a escala de paisaje y análisis de vacíos en el CBVCT**

El paisaje en el corredor se encuentra altamente fragmentado. La categoría de uso predominante es la cobertura boscosa (40% del área total), seguida por pastos (24%) y café (14%). La cobertura boscosa es bastante más baja que la encontrada por Ramos y Finegan (2007) en el Corredor Biológico San Juan - La Selva (70%). En el análisis a nivel de clases, el estrato de Ultisoles (parte sur del corredor) representa la mayor proporción en área de todo el corredor (44.000 ha), seguido de los Inceptisoles (parte central del corredor) y Andisoles (parte norte del corredor) con 17.000 y 10.000 ha, respectivamente. En el estrato Ultisol se presenta la mayor extensión de cobertura boscosa, con un área aproximada de 22.000 ha. La mayor actividad agrícola y densidad poblacional se ubican en el estrato de los Inceptisoles, cuyos suelos son de topografía plana a ligeramente plana, lo que favorece el asentamiento humano y el desarrollo de actividades económicas. En este estrato es donde se encuentra la mayor fragmentación de la cobertura forestal.

Para el análisis de vacíos se tomó en cuenta que sólo existe al interior del corredor un área silvestre protegida: el Monumento Nacional Guayabo (MNG). Este, sin embargo, cubre una mínima parte del territorio del CBVCT (0,3%). A partir del análisis de vacíos, se muestra que los cinco tipos de bosque preliminares identificados por Murrieta et ál. (pág. 57 en este mismo número)

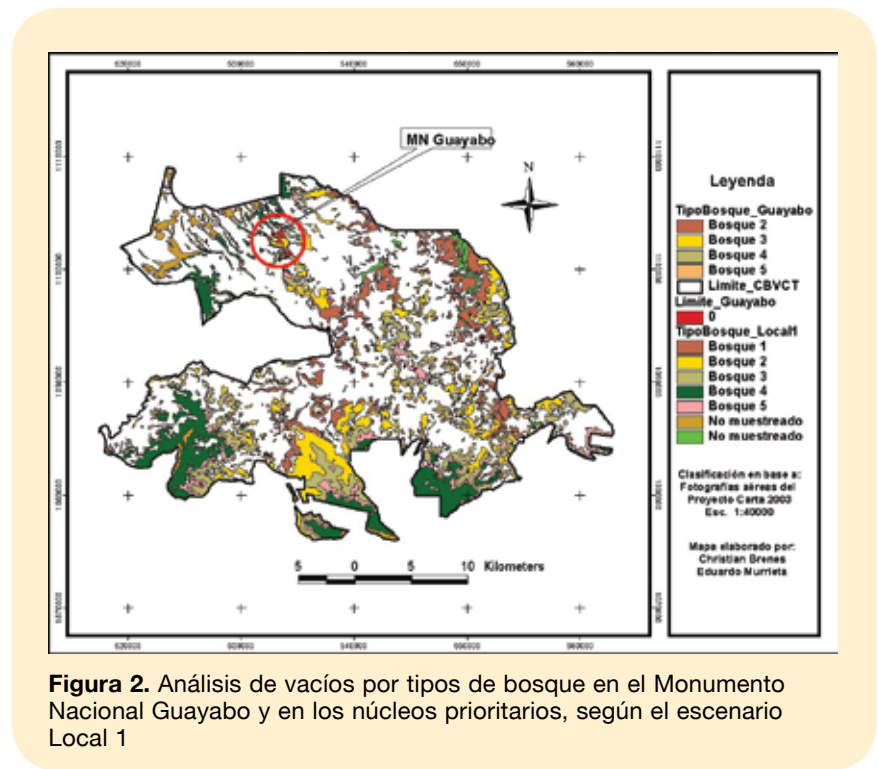
para el CBVCT tienen poca representación y protección en el corredor. En un 60% del área del MNG se protegen cuatro tipos de bosques, más no el bosque 1.

Powell et ál. (2000) realizaron un estudio de vacíos para toda Costa Rica, considerando las áreas silvestres protegidas y las zonas de vida de Holdridge; para ello establecieron dos niveles de protección. El nivel 1, conformado por los parques nacionales y reservas biológicas, establece protección absoluta a todos los organismos representados en ellos; el nivel 2 - reservas forestales, humedales o zonas protectoras - son áreas que sólo reciben protección simbólica. Estas áreas poseen poca restricción de uso y, por lo tanto, son susceptibles de ser convertidas a otros usos agrícolas. El MNG se ubica en el primer nivel y ofrece protección absoluta a cuatro de los cinco tipos de bosques encontrados.

Tomando en cuenta que el análisis de vacíos se hizo a partir de una sola área silvestre protegida, y que su área es muy pequeña, se decidió ampliar el análisis con los núcleos prioritarios de cobertura boscosa. Para tal efecto, se seleccionó uno de los cinco escenarios definidos en el taller de priorización de áreas para la conservación, el escenario de red local 1. La Fig. 2 muestra gráficamente la distribución de los cinco tipos de bosque. De las aproximadamente 29.000 ha con cobertura boscosa, 14.000 ha se encuentran representadas -pero no protegidas legalmente - bajo alguna categoría de área protegida.

### Análisis de conectividad ecológica

Se analizaron dos de las cinco redes de conectividad (local 1 y técnico 1). La Fig. 3 muestra la red de conectividad del escenario local 1, que es el de mayor recorrido. En cada red, los niveles de conectividad atraviesan cobertura boscosa, café con sombra, pasto, charrales/tacotales y otros usos hasta llegar a conectar los par-



ches de bosque. Las redes se inician en el sector norte del CBVCT, cerca del volcán Turrialba. El recorrido busca conectar con el monumento nacional Guayabo, y luego con otras áreas protegidas como el refugio privado de vida silvestre La Marta y la zona protectora de la cuenca del río Tuis, atravesando parches de bosques ribereños y áreas de pastizales. En este sector predomina la cobertura de pasto; por eso, aunque se trata de pasar por los usos con las fricciones más bajas, no siempre se logra evitar este uso.

Considerando las trayectorias de las cinco redes, se identificaron varios sectores de primordial importancia para la conectividad del paisaje y la conservación de la biodiversidad tomando en consideración la existencia y extensión de la cobertura vegetal natural, tipos de bosques y otros usos (Fig. 4). En la parte norte del CBVCT (sector 1), por las faldas del volcán Turrialba, predominan los pastizales y parches pequeños de bosque ribereño. Estos parches constituyen pequeños núcleos bási-

cos para la conectividad, por lo que necesariamente deberían ser conservados y protegidos. En el sector 2 se ubica la finca cafetalera Aquieres que es otra área de importancia para la conectividad en el corredor. Esta finca de cafetales con sombra es muy extensa; una gran parte de ella ha sido certificada por Rainforest Alliance. En el sector 3 se encuentra la finca La Isabel, cuyo bosque juega un papel estratégico para la conectividad en un área del corredor altamente urbanizada.

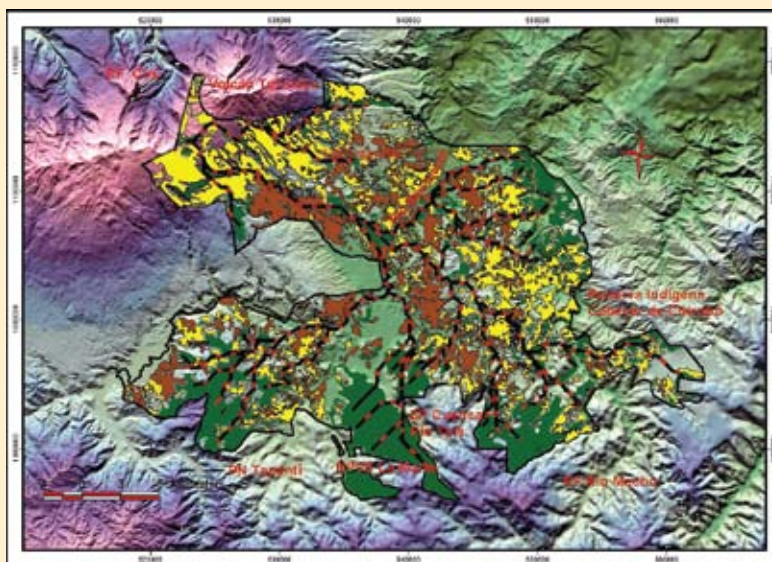
El sector 4 corresponde a la cuenca media y baja del río Pacuare (Fig. 5). Esta área da continuidad a los bosques aledaños al corredor y protegidos por la Reserva Indígena Cabecar, en Chirripó. En este sector hay grandes extensiones de bosque primario en condiciones casi inalteradas, lo cuales son muy importantes para los procesos ecológicos relacionados con la conectividad estructural y funcional del corredor. Los bosques del sector 5 son importantes porque proporcionan el recurso agua a las poblaciones asentadas en

la parte baja de la cuenca, así como al embalse de La Angostura. Estos bosques, al igual que el de La Isabel, son de importancia estratégica para el corredor. El sector 6 alberga a la finca Florencia Industrial; por la diversidad de especies vegetales que posee, esta es una zona que también aporta mucho a la conectividad del paisaje (Fig. 5). Además, allí también se encuentran nacientes de agua que abastecen del recurso a las comunidades aledañas. Finalmente, los sectores 7, 8 y 9 (Fig. 5) son los tres núcleos de bosque más grandes en todo el CBVCT. Estos sectores, ubicados en Pejivalle, La Marta y Tayutic, respectivamente, mantienen áreas de bosque primario en condiciones poco alteradas que se interconectan con otras áreas protegidas.

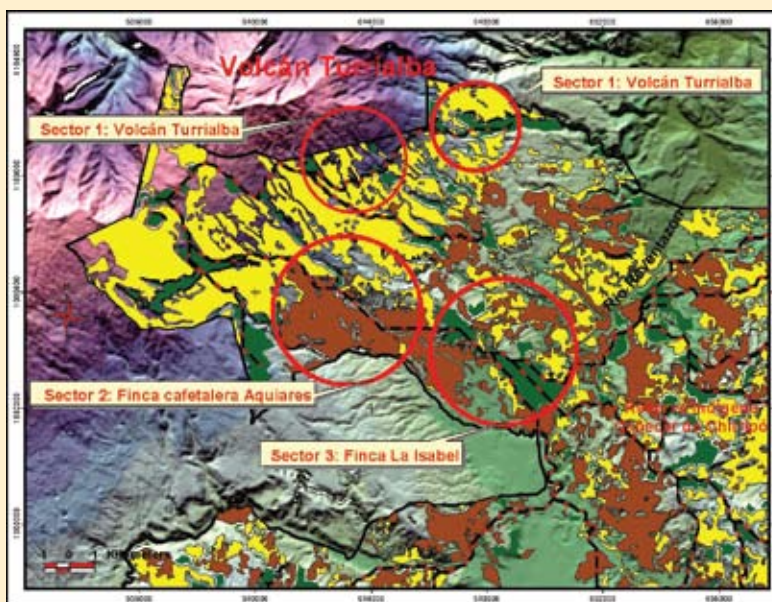
La propuesta para la creación de una red de conectividad ecológica en el CBVCT constituye una herramienta estratégica para la conservación de la biodiversidad, ya que toma en cuenta la priorización de áreas para mantener o aumentar la conectividad entre los remanentes de bosques naturales. Esta propuesta debe enmarcarse dentro de un enfoque de manejo de paisaje, por lo que debe ser considerada como información base para la planificación de los recursos en el corredor. La red está abierta a todas aquellas posibilidades futuras que permitan identificar nuevas áreas prioritarias y, en consecuencia, generar nuevos escenarios de redes de conectividad ecológica.

### Conclusiones y recomendaciones

■ A partir de los escenarios de redes de conectividad ecológica propuestos se identificaron nueve sectores prioritarios para la conservación de la biodiversidad en el CBVCT. En estos sectores es importante aplicar estrategias de manejo y conservación de recursos naturales, como el pago por servicios ambientales y procesos de certificación agrícola y forestal.



**Figura 3.** Red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (línea de color rojo y negro), parches de bosque natural (color verde oscuro), café (color marrón) y pasto (color amarillo)

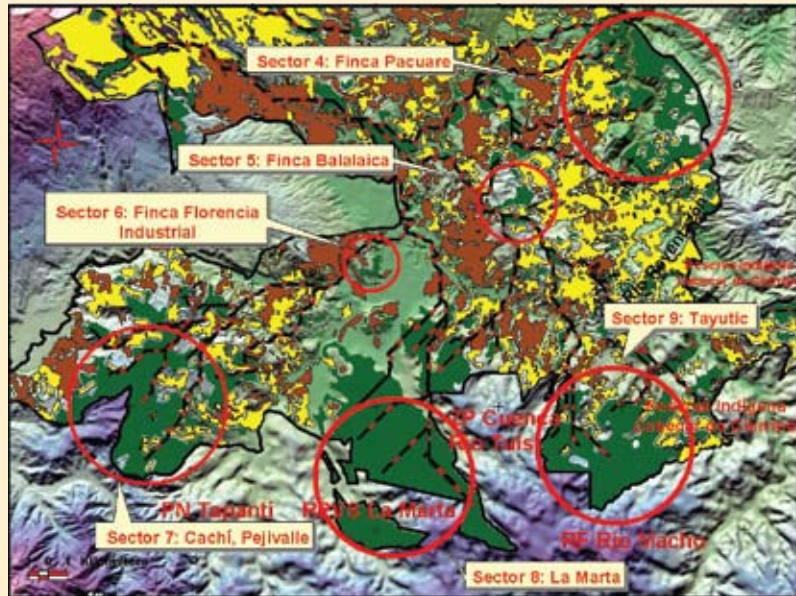


**Figura 4.** Identificación de tres sectores prioritarios (círculos de color rojo) para la conservación de la biodiversidad, considerando la trayectoria de las redes de conectividad estructural en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca: bosque (color verde oscuro), pasto (color amarillo), café (color marrón) y la red (línea de color rojo y negro)

- A partir de las redes de conectividad propuestas queda abierta la posibilidad de modelar otros escenarios en el futuro, que consideren nuevos valores de fricción y que tomen en cuenta otros aspectos que no fueron evaluados en el presente estudio, como la calidad de los parches.
- Es conveniente realizar ajustes en la delimitación del área del CBVCT. En la parte norte del corredor sería conveniente integrar el parque nacional Volcán Turrialba y el humedal Lagunas de Bonilla; por el suroeste, los terrenos del CATIE, y por el sur, el área adyacente a la reserva privada de vida silvestre La Marta, ya que es un área con cobertura boscosa que se encuentra aislada de la delimitación continua del corredor.

#### Agradecimiento:

A Christian Brenes, especialista SIG del CATIE por su apoyo en el análisis de paisaje y los demás productos en SIG.



**Figura 5.** Identificación de seis sectores prioritarios (círculos de color rojo) para la conservación de la biodiversidad, considerando la trayectoria de las redes de conectividad estructural en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca: bosque (color verde oscuro), pasto (color amarillo), café (color marrón) y la red (línea de color rojo y negro)

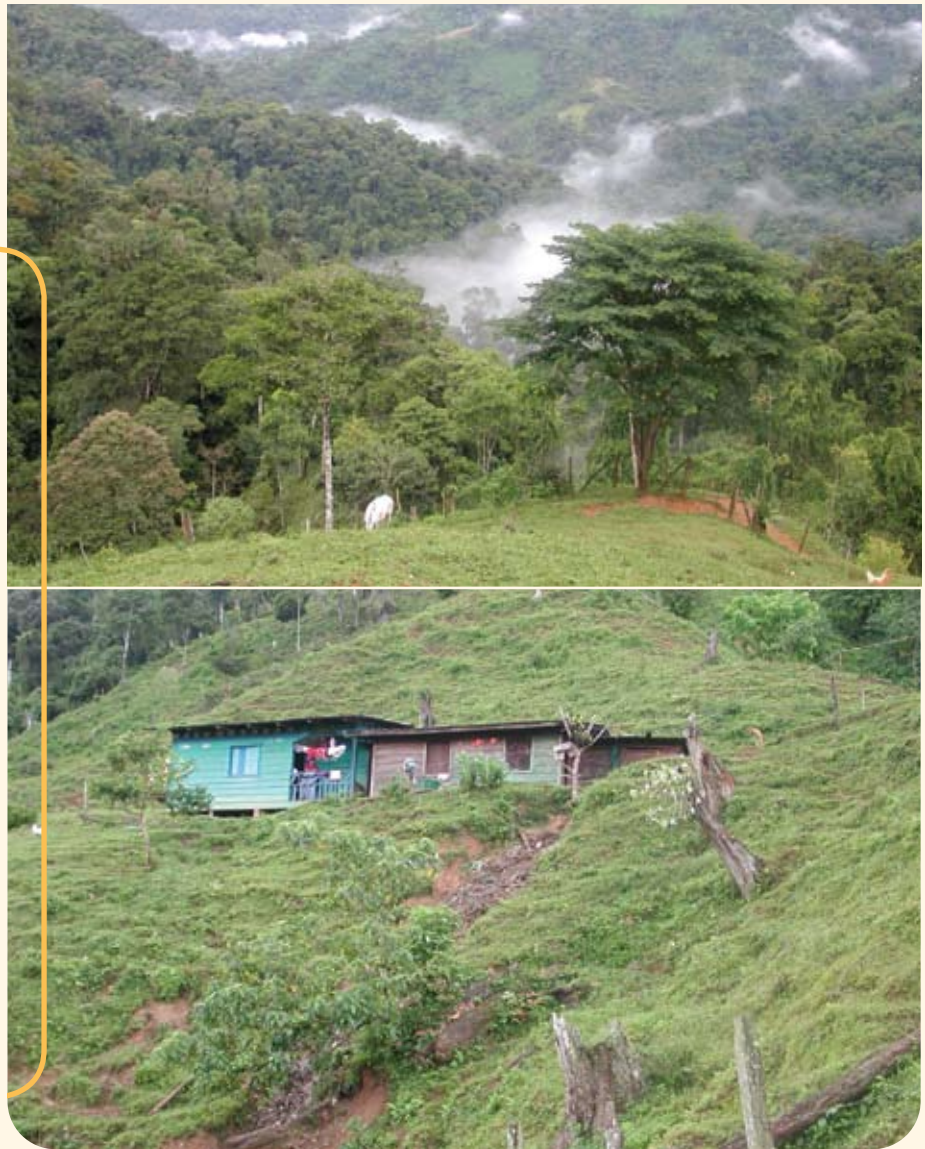
#### Literatura citada

- Bocco, G; Mendoza, M; Velásquez, A. 2001. Remote sensing and GIS – based regional geomorphological mapping – a tool for land use planning in developing countries. *Science* 39(3): 211-219.
- Caicco, SI; Scout, JM; Butterfield, B; Csuti, B. 1995. A gap analysis of the management status of the vegetation of Idaho (USA). *Conservation Biology* 9(3):498-511.
- Canet, L. 2003. Ficha técnica del Corredor Biológico Turrialba – Jiménez. San José, CR, Minae. 75 p.
- D'Eon, RG; Glenn, SM; Parfitt, I; Fortín, MJ. 2002. Landscape connectivity as a function of scale and organism viability in a real forested landscape. *Ecology and Society* 6(2):10.
- Hocor, TS; Carr, MH; Zwick, PD. 2000. Identifying a linked reserve system using a regional landscape approach: The Florida ecological network. *Conservation Biology* 14(4):984-1000.
- Holdridge, LR. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, CR, IICA.
- Kiester, AR; Scott, JM; Csuti, B; Noss, RF; Butterfield, B; Sahr, K; White, D. 1996. Conservation prioritization using gap data. *Conservation Biology* 10(5):1332-1342.
- McGarigal, K; Marks, B; Ene, E; Holmes, C. 2002. Fragstats: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Oregon State University, US (en línea). Disponible en <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- \_\_\_\_\_; Marks, B. 1995. Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Oregon State University, US. 122 p.
- Murrieta, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central - Talamanca. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.
- Powell, GVN; Barborak, J; Rodríguez, M. 2000. Assessing representativeness of protected natural areas in Costa Rica for conserving biodiversity: a preliminary gap analysis. *Biological Conservation* 93:35-41.
- Ramos, ZS; Finegan, B. 2007. Red ecológica de conectividad potencial: estrategia para el manejo del paisaje en el Corredor Biológico San Juan-La Selva. *Recursos Naturales y Ambiente* 49:112-123.
- Tischendorf, L; Fahrig, L. 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Ilumina* 90(1):7-19.
- Van der Merwe, JH; Lohrenz, G. 2001. Demarcating coastal vegetation buffers with multicriteria evaluation and GIS at Saldanha Bay, South Africa. *Ambio* 30(2):89-95.

# Dinámica y factores determinantes de los cambios de la cobertura forestal en el área colindante al Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica<sup>1</sup>

**Antonio Arana<sup>2</sup>; José Joaquín Campos<sup>3</sup>; Sergio Velásquez<sup>4</sup>; Róger Villalobos<sup>5</sup>; André Días<sup>6</sup>**

Los cambios observados en la cobertura forestal en el Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte han sido el resultado de una acción conjunta de factores socioeconómicos incidentes en diversos momentos y originados en políticas (o ausencia de políticas) gubernamentales enfocadas en diversos sectores de la sociedad. Esto ha conformado un proceso dinámico de influencias directas e indirectas en el uso de la tierra.



Fotos: Red Iberoamericana de Bosque Modelo.

<sup>1</sup> Basado en Arana Cardó, AU. 2004. Cambio espacial y temporal del uso de la tierra en la zona de influencia del Parque Nacional Corcovado y su influencia en la conservación de los ecosistemas naturales. Península de Osa, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.

<sup>2</sup> Fallecido el 18 de febrero del 2008

<sup>3</sup> Cátedra Latinoamericana de Gestión de Territorios Forestales, CATIE. jcampos@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. svelasqu@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Cátedra Latinoamericana de Gestión de Territorios Forestales, CATIE. rvillalo@catie.ac.cr

<sup>6</sup> andre\_sdias@hotmail.com

## Resumen

El Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte (PNTMM), ubicado en la Cordillera de Talamanca, cumple la función de protección de una de las principales fuentes de producción de agua potable y de generación de energía hidroeléctrica en Costa Rica. En su zona de amortiguamiento, el nivel de vulnerabilidad a desastres naturales ha aumentado debido al uso intensivo del suelo y prácticas inapropiadas de producción agropecuaria, además de la eliminación y degradación de la cobertura forestal. Por medio de un análisis espacial multi-temporal para el periodo de 1960-1986 y 1986-1998, la presente investigación buscó determinar cuál ha sido la dinámica de los cambios de la cobertura forestal en el área colindante al PNTMM y trató de analizar, en función de un enfoque histórico-geográfico, las posibles causas del cambio. Se identificó que la cobertura del bosque se mantuvo casi estable durante todo el periodo de evaluación. Los factores estudiados ejercieron una acción conjunta y dinámica en el cambio de uso de la tierra, indicando la influencia de políticas extra sectoriales en el desarrollo del sector forestal. Para garantizar su contribución al bienestar de la sociedad, la política forestal debe ser vista como un programa multi-sectorial de articulación gubernamental.

**Palabras claves:** Parques nacionales; zonas de amortiguamiento; áreas protegidas; agua potable; energía eléctrica; generación de energía; desastres naturales; vulnerabilidad; cobertura vegetal; Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte; Cordillera de Talamanca; Costa Rica.

## Summary

**Dynamics and factors determinants of changes in forest cover in areas adjacent to the Parque Nacional Tapanti Macizo de la Muerte, Costa Rica.** The Parque Nacional Tapanti Macizo de la Muerte (PNTMM), located in the Talamanca Mountain Range, acts as a shield to one of the main sources of drinking water production and hydroelectric energy generation in Costa Rica. In its buffer zone, the vulnerability to natural disasters has increased due to the intensive land use and inappropriate farming practices, in addition to deforestation and forest cover degradation. By means of a multi-temporal space analysis for the periods 1960-1986 and 1986-1998, this research pretended to determine the dynamics of changes in forest cover in areas adjacent to the PNTMM; besides, using a historical-geographic approach we tried to analyze the possible causes of change. Forest cover remained almost constant throughout the period of evaluation. The factors studied exerted a joint impulse to the dynamics of land use change, suggesting the impact of cross-sector policies in forestry. It is suggested that forest policies must be viewed as a multi-sector program, governmentally managed, to guarantee its contribution to the well being of society.

**Keywords:** National parks; buffer zones; protect areas; water potable; electricity; energy generation; natural disasters; vulnerability; vegetal cover; National Park Tapantí Macizo de la Muerte; Talamanca Mountain; Costa Rica.

## Introducción

El presente estudio se realizó en el anillo externo del Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte (PNTMM), ubicado en la Cordillera de Talamanca, provincia de Cartago, a 50 km de San José, capital de Costa Rica (Rodríguez 2002). El PNTMM

cumple una función primordial de protección de una de las principales fuentes de producción de agua potable; allí nacen los ríos Grande de Orosi, Pejibaye y Pacuare. En la zona de amortiguamiento del parque se encuentra la Zona Protectora río Sombrero y río Navarro, que cubre la cabecera del río Macho. En

la cuenca del río Reventazón, cuya margen sur protege este parque, se genera el 38% de la energía hidroeléctrica del país (ICE 1999a).

Sin embargo, existen problemas en el uso de la tierra en la parte norte de la zona de amortiguamiento del PNTMM por el uso intensivo del suelo y la aplicación de prácticas

inapropiadas de producción agropecuaria, que han llevado a la pérdida de suelos y contaminación de las aguas por el uso intensivo de agroquímicos (Pérez et ál. 2001, García 2003). Esto ocasiona un incremento en el nivel de vulnerabilidad a desastres naturales y disminuye el grado de resiliencia natural, por ser una zona con pendientes elevadas y suelos de naturaleza volcánica poco estables. Asimismo, la cobertura del bosque ha sido degradada o eliminada.

El objetivo general de este estudio consistió en caracterizar, a un nivel exploratorio, las posibles causas que han influido en el cambio de cobertura forestal en el área colindante al PNTMM. Como objetivos específicos se buscó *i)* determinar la dinámica de los cambios de la cobertura forestal en las áreas colindantes al PNTMM, a través de un análisis espacial multi-temporal y *ii)* analizar, mediante un enfoque histórico-geográfico, las posibles causas del cambio de uso de la cobertura forestal. Se empleó información bibliográfica, interpretación cartográfica y verificación de campo buscando contestar las siguientes interrogantes:

- ¿Cuánto y cómo han cambiado los ecosistemas forestales en la zona de amortiguamiento del PNTMM?
- ¿Cuáles han sido los factores determinantes de los cambios de la cobertura forestal?

### Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en tres fases: 1) definición y estratificación del área, 2) análisis espacio-temporal y sistematización de la información histórica y 3) análisis y discusión de los resultados. Todavía no se ha establecido formalmente una zona de amortiguamiento para el PNTMM; por lo tanto, para definir el área de estudio, se demarcó un perímetro de 5 km a partir del límite del PNTMM (el anillo externo). Esta área cuenta con una superficie total de 73.292 hectáreas. El área del parque se denomina como zona



El cambio de uso de la tierra ocurrió en el Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte en mayor escala en el periodo 1960-1986

Foto: Red Iberoamericana de Bosques Modelo.

núcleo. La distancia de 5 km ha sido establecida con base en criterios logísticos y operativos para el desarrollo de la investigación.

La definición de los periodos de evaluación temporal se basó en el enfoque utilizado por Mertens et ál. (2000), el cual utiliza imágenes de satélite coincidentes con hitos históricos que influyeron en el cambio de uso de la tierra. Se diferenciaron tres líneas de evaluación, con la siguiente fuente de información cartográfica:

- Década de 1960: se elaboró una ortofoto basada en fotografías áreas blanco y negro de 1960-1961 (escala 1/60.000) y de 1964 (escala 1/20.000).
- Década de 1980: imagen de satélite Landsat TM 1986, de 30 x 30 m de aproximación.
- Línea final 1998: se elaboró una ortofoto con fotografías aéreas a color (escala 1/40.000) del proyecto TERRA.

Se definieron 12 unidades de uso de la tierra, a partir de experiencias de diversos autores (Bermúdez 2001, Méndez 2001, Mertens et ál. 2000, FAO 1996, Hobbs y Wilson 1998 y Morales y Kleinn 2001). En la digitalización de la información se determinó una escala 1/25.000, que permitió identificar todas las unidades de uso en tres periodos de tiempo.

Las fotografías aéreas se ortorectificaron utilizando PCI Geomatic-OrthoEngine Airphoto 9.0 (Falkner 1995). Después de georreferenciar el material, se elaboraron dos mosaicos fotográficos: uno para la línea base de 1960 y el otro para la línea final en 1998. Para el año 1986 se contó con una imagen satélite completa.

El tamaño mínimo del polígono a interpretar para las unidades de uso se determinó en 2 hectáreas para abarcar la unidad mínima legal de bosque en Costa Rica (La Gaceta 1996). Se generaron tres mapas de uso de la tierra considerando las doce categorías de uso en los espacios temporales propuestos. Para realizar el análisis de la evolución del uso de la tierra en las áreas protegidas colindantes, se utilizó el archivo digital de la cobertura nacional de áreas naturales protegidas (ANP) del SINAC (2003) y los mapas de uso de la tierra obtenidos en los tres periodos como base.

Para la sistematización de la información histórica se realizó una revisión en fuentes secundarias bajo ocho ejes temáticos previamente definidos: tenencia de la tierra, evolución de los mercados para el sector agrario y servicios ambientales, marco regulatorio al acceso y uso de la tierra, comportamiento del valor

**Cuadro 1.**

Uso de la tierra en el anillo externo del PNTMM, para cada periodo evaluado

USO	Uso 1961-64		Cambio 60s-1986		Uso 1986		Cambio 1986-98		Uso 1998	
	ha	%	Relativo (%)	Absoluto (ha)	ha	%	Relativo (%)	Absoluto (ha)	ha	%
Bosque	62.407,7	85,1	-2,6	-1.600,0	60.807,8	83,0	2,2	1.382,8	62.190,6	84,9
Pasto	7.287,8	9,9	-36,6	-1.951,8	5.336,1	7,3	3,9	213,8	5.549,8	7,6
Charral	639,1	0,9	50,8	659,4	1.298,5	1,8	-132,1	-739,1	559,5	0,8
Asentamientos	10,5	0,0	74,5	30,7	41,2	0,1	32,4	19,7	60,9	0,1
Café	747,0	1,0	56,7	977,1	1.724,0	2,4	14,6	295,3	2.019,4	2,8
Caña	346,5	0,5	64,9	641,2	987,7	1,3	-9,4	-85,1	902,7	1,2
Suelo desnudo	0,0	0,0	0,0	2,9	2,9	0,0	76,2	9,2	12,1	0,0
Páramo	832,0	1,1	0,3	2,3	834,3	1,1	0,0	0,0	834,3	1,1
Embalse	7,4	0,0	-0,1	0,0	7,4	0,0	0,1	0,0	7,4	0,0
Plantaciones	0,0	0,0	100,0	121,6	121,6	0,2	23,2	36,7	158,3	0,2
Otros cultivos	218,1	0,3	-149,1	-130,6	87,6	0,1	42,9	65,7	153,2	0,2
Pasto/árboles	796,1	1,1	61,0	1.247,0	2.043,1	2,8	-142,1	-1.199,0	844,0	1,2
TOTAL	73.292	100			73.292	100			73.292	100

de la tierra en el tiempo, cambios en las políticas económicas hacia el sector agrario, implementación de tecnologías en el desarrollo rural, evolución de la ocupación de la mano de obra y evolución del marco institucional. Utilizando la triangulación de los resultados como herramienta, se discutió la información proveniente de la sistematización histórica y los resultados del análisis espacial. La discusión se realizó para cada periodo, respetando los ejes temáticos propuestos en la sistematización.

## Resultados y discusión

### Uso de la tierra

El bosque y las pasturas representaron las unidades de uso de la tierra de mayor superficie en el anillo externo del PNTMM durante todo el periodo estudiado. El café fue el único uso de la tierra que no sufrió cambios significativos. El área de pasto arbolado, si bien representó la mayor extensión en 1986, disminuyó considerablemente hasta 1998. A su vez, el área ocupada por la caña de azúcar se incrementó hasta 1986 pero disminuyó hacia 1998.

Lo mismo pasó con el charral (vegetación de sucesión secundaria inicial a partir del abandono de tierras agropecuarias) que ocupó su menor área en 1998. Bastante dinámica también fue la ocupación de otros cultivos, a pesar de su baja representación relativa (Cuadro 1, Fig. 1).

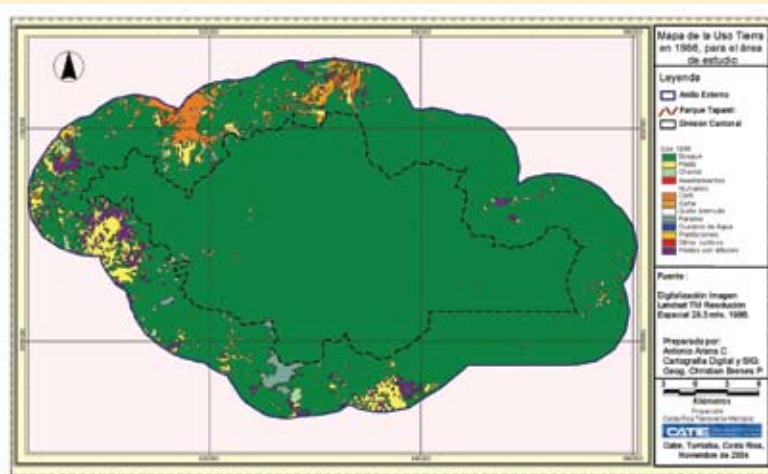
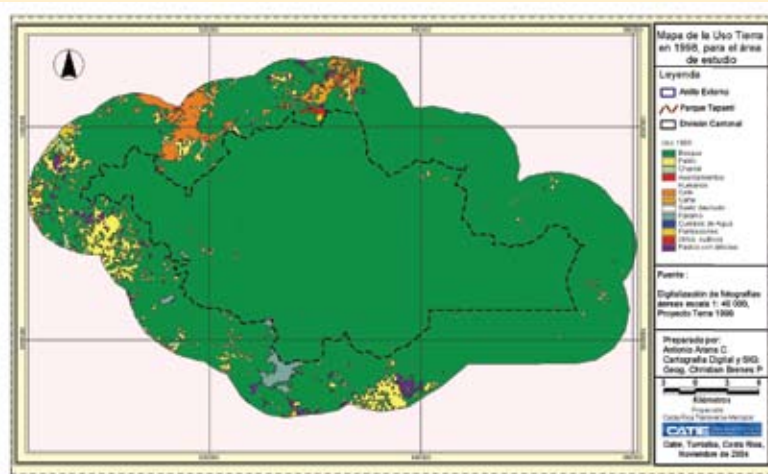
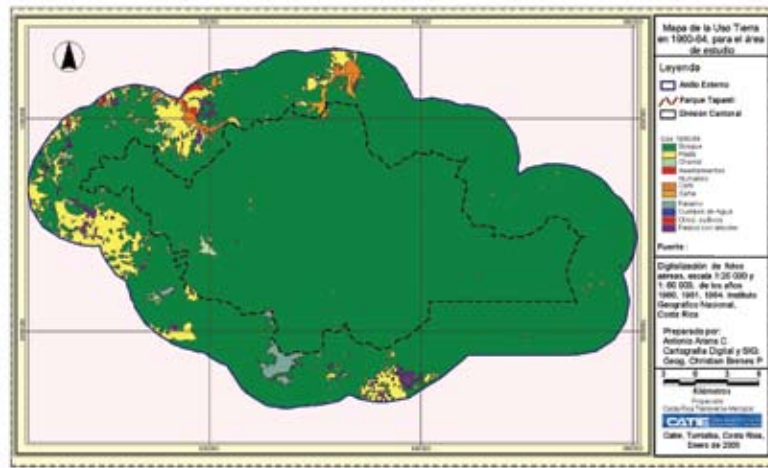
En el primer periodo, 6776,5 ha (9,25%) del área del anillo externo cambiaron de uso: 4188,2 ha (5,72%) de bosque pasaron a otros usos y 2588,3 ha (3,53%) se reconvirtieron a bosque. El segundo periodo fue menos dinámico pues solo 2910,1 ha (3,97%) cambiaron de uso: 763,7 ha (1,04%) fueron deforestadas y 2146,4 ha (2,93%) se reconvirtieron a bosque. Los mayores cambios en el uso de la tierra en términos de ocupación del espacio fueron la conversión de pasturas a bosque (26,7%) y en menor extensión, la clara restauración (7,9%) en el segundo periodo (Fig. 2).

En el periodo de 1960-1986, el mayor cambio en el uso de la tierra se dio en áreas sin categoría de protección. El pasto y pasto arbolado fueron

los usos de la tierra que más reemplazaron al bosque en valores absolutos, mientras que la restauración en este mismo periodo se dio principalmente por el abandono de pasturas (Fig. 2). En el periodo 1986-1998, los cambios en la transición del bosque a no bosque ocurrieron fuera de las áreas protegidas, de manera dispersa hacia pastos y café. La transición hacia bosque también se presentó de manera dispersa a lo largo de todo el anillo externo. Pasto arbolado, charral y pasto fueron las principales categorías que contribuyeron a la re conversión en ese periodo (Fig. 2).

**Factores que han determinado los cambios en el uso de la tierra**  
Desde hace ya mucho tiempo se ha reconocido la influencia de las políticas públicas en el desarrollo del sector forestal. Políticas dirigidas a sectores de la economía, como la agricultura, protección del agua y conservación de los recursos naturales, son de gran importancia en este contexto (FAO 2003) y pueden tener efectos positivos o negativos y



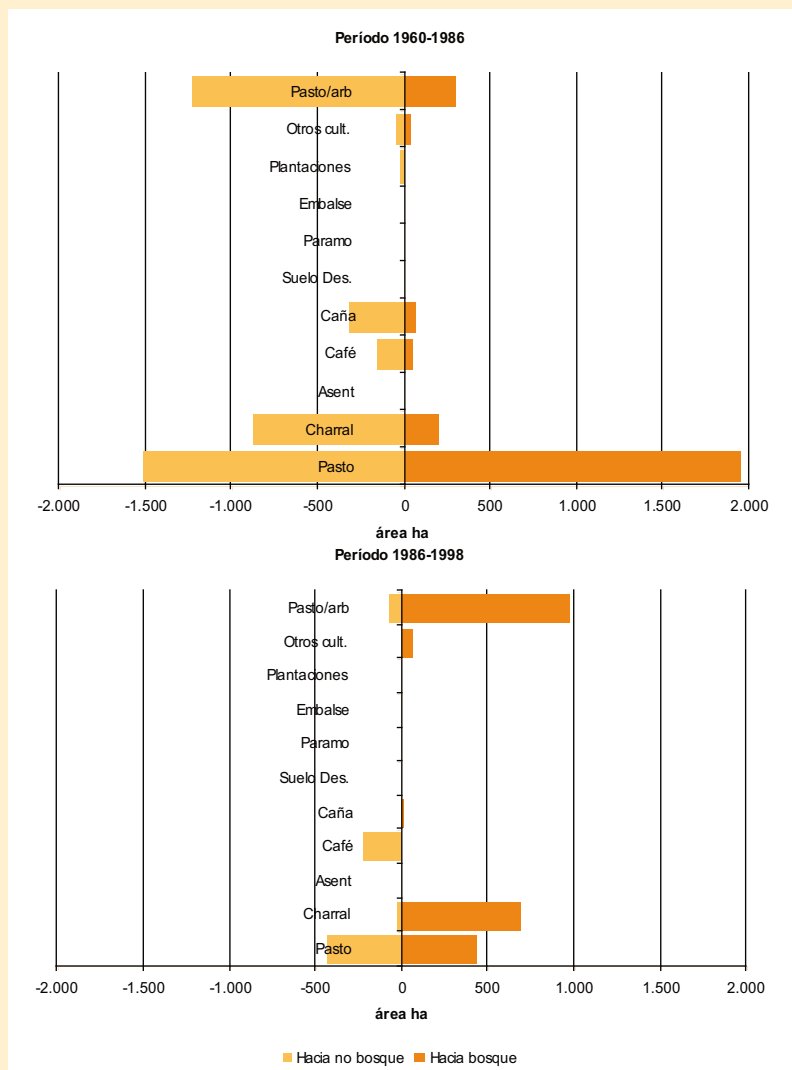


**Figura 1.** Uso de la tierra en el área de estudio para cada periodo evaluado

repercusiones imprevistas en otros sectores (FAO 2001, Laarman 2000). En Costa Rica, como en otros países de Centroamérica, el sector forestal históricamente se ha desarrollado de manera desarticulada del resto de los sectores de la economía rural, principalmente en lo referente a políticas agropecuarias y derechos de propiedad (FAO 2005, Jaramillo y Kelly 2000). En un estudio sobre impactos de políticas forestales en Centroamérica, Asia y África, 40% de los ejemplos identificados se referían a políticas de establecimiento del marco institucional, 38% a políticas dirigidas a sectores específicos de la economía y 22% a políticas de promoción del desarrollo (FAO 2001).

Los cambios observados en la cobertura forestal en el área de estudio han sido el resultado de una acción conjunta de factores socioeconómicos incidentes en diversos momentos y originados en políticas (o ausencia de políticas) gubernamentales enfocadas en diversos sectores de la sociedad. Esto ha conformado un proceso dinámico de influencias directas e indirectas en el uso de la tierra. En el primer periodo, cuando la cobertura forestal sufrió la mayor presión de su historia, la tenencia de la tierra con bosques se caracterizaba por presentar derechos de propiedad indefinidos, con escasas reglas institucionales. El valor de la tierra era establecido en función de las llamadas ‘mejoras’ (tala del bosque y cambio de uso hacia pastos o cultivos) e infraestructura instalada (Hall 1984, Holland 1999, Rodríguez 2000, Araya y De Marco 2001, Peters y Samper 2001).

El bosque y sus servicios no tenían un valor de intercambio comercial, y no podían competir con las políticas de desarrollo económico basadas en el mercado agroexportador. El mercado de productos de carne bovina y productos lácteos fomentó la ganadería extensiva, favorecida por la proliferación de restaurantes de



**Figura 2.** Transición hacia bosque y no bosque en valores absolutos (ha) dentro del anillo externo del PNTMM para el periodo 1960-1986 y 1986-1998.

comida rápida en los Estados Unidos, e impulsó la deforestación (Hollman 1998, Kaimowitz y Angelsen 2001, MAG 2004). Asimismo, la política gubernamental impulsaba el otorgamiento de créditos subsidiados para la ganadería. Hall (1984) reporta que entre 1950 y 1973, la extensión de pasturas se duplicó de 617.174 a 1.558.053 ha. Por otra parte, la inversión del estado en obras públicas contribuyó entre los años 40-70 a la degradación de la cobertura

debido al fortalecimiento del mercado nacional para postes y durmientes (Huertas y Rojas 1998).

La aplicación de nuevas tecnologías en la agricultura a partir de 1980, principalmente los agroquímicos, generaron desempleo sobre todo del personal de planta dedicado a las labores de abonamiento y limpieza de los cultivos (Hilje et ál. 1995, Peters y Samper 2001). La mano de obra desempleada emigró a los centros urbanos (Hilje et ál. 1995, Quesada 2001)

y, como consecuencia, el bosque empezó a restaurarse en las áreas abandonadas, como se evidenció en el área de estudio. Se puede afirmar, entonces, que en el primer periodo estudiado el mercado agropecuario promovió la deforestación y expansión de la frontera agrícola y ejerció gran influencia en los cambios de uso de la tierra en el anillo externo; estos cambios se asociaron principalmente a factores como el frágil régimen de tenencia de la tierra y a una política del gobierno favorable a la colonización en áreas de bosque. Las políticas públicas extra sectoriales dictaron el uso de la tierra en el periodo inicial debido también a que los marcos institucionales del sector forestal apenas empezaban a constituirse (en 1969 se aprueba la Ley Forestal 4465 y se crea la Dirección General Forestal como parte del Ministerio de Agricultura y Ganadería).

En el segundo periodo, si bien los cambios fueron en menor escala, la gran mayoría de las áreas de bosque se encontraban ya bajo algún régimen de tenencia formal o categoría de protección (Hall 1984, Ureña 1990, Kappelle y Juárez 1995b). De hecho, el anillo externo del PNTMM actualmente está cubierto en un 70% (50.600 ha) por áreas naturales protegidas, estatales y/o privadas, así como áreas sometidas a PSA (pago por servicios ambientales) con fines de protección. En la década de 1970 existían áreas sin un régimen de propiedad definido, lo cual permitió al Estado asignar a los baldíos una categoría de protección estatal. Desde los años 1980, la disponibilidad de tierra para expansión agrícola y la creación de áreas protegidas ya era muy limitada.

Conforme fueron escaseando las tierras de bosque libre su valor se fue incrementando, lo cual obligó al Instituto de Desarrollo Agrario (IDA) a adquirir tierras en propiedad privada a un mayor precio

<sup>7</sup> Cubero, J. 2004. Instituto de Desarrollo Agrario (IDA). Turrialba, Costa Rica. Entrevista personal

y reducir el tamaño de las fincas otorgadas a agricultores sin tierra (ICE 1999b, Cubero<sup>7</sup>). Esto a su vez fomentó la fragmentación de los bosques (Sánchez et ál. 1998), principalmente en el sector norte del área de estudio. En los años 1980, los precios internacionales del café y la caña de azúcar bajaron y el mercado para los productos ganaderos se restringió. Las subvenciones al sector ganadero se redujeron hasta desaparecer; en consecuencia, el sector no volvió a repuntar y se inició así el abandono de los pastizales. Estos cambios en los mercados y precios se vieron reflejados en la zona de estudio, pues los pastos sufrieron la mayor reducción, cambiando hacia bosque o estadios intermedios de charral y pastos arbolados.

En las décadas de 1980 y 1990, el sector agropecuario nacional buscó nuevas alternativas de mercado con la exportación de productos no tradicionales (Rodríguez 2000, Camacho y Reyes 2002). En la zona de estudio, se concentró el cultivo de plantas ornamentales, flores, cultivos permanentes y servicios ambientales en las áreas protegidas. Nuevos marcos regulatorios propiciaron la aplicación de incentivos forestales a la reforestación, que luego evolucionaron al pago por servicios de mitigación de emisión de gases de efecto invernadero, protección del recurso hídrico, protección de la biodiversidad y belleza escénica (Vega 1996, Pratt y Olson 1997, Rodríguez 2000, Alceste y Jory 2002).

La crisis ganadera de los años 1980 en Centroamérica no fue la única razón para detener el avance de la frontera de pastos sobre el bosque, puesto que los finqueros abrían áreas de bosque con el fin de asegurar la tenencia de la tierra (Kappelle y Juárez 1995a, Kaimowitz y Angelsen 2001). En el contexto costarricense, la expansión de la frontera de pastos decayó por el agotamiento de las áreas disponibles para la conversión de bosque a pasturas y, también,

porque muchas áreas de pasturas tradicionales fueron sustituidas por usos más rentables para sus propietarios (Kaimowitz y Angelsen 2001). La acción integrada de la crisis en el mercado de productos agrícolas tradicionales, que a la vez generó estrategias que promovieron productos no tradicionales, y el gran aumento de áreas bajo protección en el anillo externo como resultado del creciente interés político en proteger áreas naturales, contribuyó para que la deforestación en el segundo periodo fuera menor que la tasa de recuperación del bosque. Asimismo, en este periodo se incrementaron las políticas públicas con gran incidencia en el sector forestal (por ejemplo la creación del Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM) en 1986, que en 1995 pasa a ser el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE); la Ley Orgánica del Ambiente de 1995; la consolidación del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) en 1996; la Ley de Biodiversidad en 1998). Esto refuerza la idea de que políticas forestales explícitas, basadas en los principios del desarrollo sostenible, y orientadas hacia la producción y aprovechamiento de bienes y servicios -como la conservación de la biodiversidad- no resultan suficientes para garantizar la cobertura forestal. Es importante que los marcos regulatorios y políticas de desarrollo forestal estén respaldados por decisiones intersectoriales para que sean más eficientes y para que el sector sea menos vulnerable ante la intrincada red de intereses de la sociedad.

### **Conclusiones y recomendaciones**

La escasa disponibilidad de material cartográfico coincidente con los hitos históricos no permitió un análisis más detallado de los procesos de cambio de uso del suelo. Un entendimiento del proceso histórico a partir del análisis de periodos

más cortos podría brindar información más precisa de los factores influyentes. La definición de ejes temáticos permitió organizar y sistematizar la información secundaria para facilitar su análisis, e integrarla al resultado obtenido con el análisis espacio-temporal.

Es bosque se mantuvo casi estable en su cobertura en el anillo externo del PNTMM durante todo el periodo de evaluación. El cambio de uso de la tierra ocurrió en mayor escala en el primer periodo estudiado (1960-1986); el pasto, pasto arbolado y el charral fueron las unidades de uso que remplazaron al bosque, en tanto que la recuperación de bosques se debió principalmente al abandono de pasturas. En el segundo periodo (1986-1998) los cambios fueron de menor escala hacia pasto y café, mientras la recuperación de áreas forestales ocurrió principalmente en el pasto arbolado y el charral.

Los factores estudiados ejercieron una acción conjunta y dinámica en el cambio de uso de la tierra; esto evidencia la influencia de políticas extra sectoriales en el desarrollo del sector forestal. Por lo tanto, no se debe proteger y aislar el sector forestal. La política forestal debe ser vista como un programa multi-sectorial de articulación gubernamental para el sector forestal que contribuya al bienestar de la sociedad.

Para tratar de disminuir los efectos negativos de las políticas extra sectoriales se sugiere:

- Buscar un mayor reconocimiento por parte de otros sectores de los valores económicos y sociales del bosque; esto significa que la oficina forestal nacional debe orientar sus esfuerzos más allá de las actividades de control y comando.
- El sector forestal no debe promover regulaciones sin antes considerar el conocimiento y aporte de otros sectores y actores; para esto es de importancia clave informar de sus iniciativas y planes estratégicos, e involucrar a diversos actores

durante el proceso. También es importante identificar los sectores y actores que poseen intereses y objetivos afines.

■ Promover el establecimiento de mesas de concertación que promuevan la participación de diferentes actores involucrados en

temas o territorios específicos y la revisión de políticas y de la legislación vigente. 🌿

## Literatura citada

- Alceste, C; Jory, D. 2002. World Tilapia Farming (en línea). Available at <http://www.aquaculturemag.com/siteenglish/printed/buyers/web.tilapia.html>. 10 p.
- Araya, J; De Marco, G. 2001. Informe sobre el avance y desarrollo de la reserva de la biosfera de la Amistad – Talamanca. San José, CR, MINAE. 78 p.
- Bermúdez, T. 2001. Probabilidad de cambio y factores asociados a los patrones del uso de la tierra en la franja comprendida entre los parques nacionales Volcán Irazú y Volcán Turrialba. Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 66 p.
- Camacho, A; Reyes, V. 2002. Octavo informe sobre el estado de la nación en desarrollo humano sostenible: Pago por servicios ambientales. San José, CR, Estado de la Nación. 28 p.
- Falkner, E. 1995. Aerial mapping: methods and applications. Boca Raton, US, Lewis Publishers. 322 p.
- FAO. 1996. Forest resources assessment 1990: survey of tropical forest cover and study of change processes. Rome, IT, FAO. 152 p. (FAO Forestry Paper 130).
- \_\_\_\_\_. 2001. Cross-sectoral policy impacts in forestry examples from within and outside FAO. Rome, IT, FAO. 95p.
- \_\_\_\_\_. 2003. Cross-sectoral policy impacts between forestry and other sectors. Rome, IT, FAO. 129 p. (FAO Forestry Paper 142.).
- \_\_\_\_\_. 2005. Informe Regional Centroamérica y México: Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina. Roma, IT, FAO. ESFAL/SR/3. 101p.
- García, A. 2003. Lineamientos para la planificación de un bosque modelo en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 134 p.
- Gobierno de Costa Rica. 1996. Ley Forestal No. 7575. La Gaceta (CR) No. 72, 16 de abril de 1996. San José, CR.
- Hall, C. 1984. Costa Rica: una interpretación geográfica con perspectiva histórica. San José, CR. 464 p.
- Hilje, B; Naranjo, C; Samper, M. 1995. “Entonces vinieron otras variedades, otros sistemas”: Testimonios de la caficultura en el valle central de Costa Rica. San José, CR, ICAFE (Instituto Nacional del Café) – UNA (Universidad Nacional de Costa Rica). 193 p.
- Hobbs, RJ; Wilson, AM. 1998. Corridors: theory, practice and achievement of conservation objectives. In Dover, JW; Bunce, RGH. (eds.). Key concepts in landscape ecology. Proceedings of the 1998 European Congress of the International Association for Landscape Ecology (IALE), held at Myerscough College 3rd-5th September 1998. Preston, UK, IALE. p. 265-79.
- Holland, C. 1999. Estudio diagnóstico de la subregión este: Provincia de Cartago. San José, CR, CISRE. 84 p.
- Hollman, F. 1998. Reflexiones sobre la competitividad de distintos modelos de producción de leche en América Latina. Cali, CO. 20 p.
- Huertas, P; Rojas, E. 1998. La deslizable historia del ferrocarril al caribe de Costa Rica. Anuario de Estudios Centroamericanos 24(1-2):97-128. San José, CR, Universidad de Costa Rica.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 1999a. Plan de manejo integral de la cuenca del río Reventazón: Síntesis de diagnóstico. San José, CR. 487 p.
- \_\_\_\_\_. 1999b. Plan de manejo integral de la cuenca del río Reventazón: Informe de diagnóstico 9. Caracterización social. San José, CR. 138 p.
- Jaramillo, CF; Kelly, T. 2000. Deforestación y derechos de propiedad en América Latina. In Kari Keipi (ed.). Políticas forestales en América Latina. Washington, DC. Banco Interamericano de Desarrollo. p. 125-150.
- Kaimowitz, D; Angelsen, A. 2001. ¿Ayudará la intensificación ganadera a salvar los bosques tropicales de América Latina? Conferencia electrónica: Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales (LEAD-PFI-ECONF-L) Octubre - Noviembre de 2001. Consultado 04/08/2004. <http://lead-es.virtualcentre.org/es/ele/conferencia3/articulo6.htm>
- Kappelle, M; Juárez, M. 1995a. Agroecological zonation along an altitudinal gradient in montane belt of the Los Santos Forest Reserve in Costa Rica. In Kappelle, M. (ed.). Ecology of mature and recovering Talamanca Montane Quercus forest, Costa Rica. Amsterdam, NL, University of Amsterdam. p. 215 – 246.
- \_\_\_\_\_. 1995b. The Los Santos forest reserve: a buffer zone vital for the Costa Rican La Amistad biosphere reserve. In Kappelle, M. (ed.). Ecology of mature and recovering Talamanca Montane Quercus forest, Costa Rica. Amsterdam, NL, University of Amsterdam. p. 249 – 245.
- Laarman, JG. 2000. Políticas gubernamentales que afectan a los bosques en América Latina. In Kari Keipi (ed.). Políticas forestales en América Latina. Washington, DC. Banco Interamericano de Desarrollo. p. 13-45.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 2004. Historia del Ministerio de Agricultura y Ganadería (en línea). 25 p. Consultado el 28/10/2004. [www.mag.go.cr](http://www.mag.go.cr)
- Méndez, E. 2001. Análisis especial del tipo de uso de la tierra en la cuenca del río Turrialba. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 66 p.
- Mertens, B; Sunderlin, W; Ndoye, O; Lambin, E. 2000. Impact of macroeconomic change on deforestation in South Cameroon: integration of household survey and remotely-sensed data. World Development 28(6):983-999.
- Morales, D; Kleinn, K. 2001. Guía de fotointerpretación del proyecto FRAGMENT. Turrialba, CR, Proyecto TROF. Mimeografiado.
- Pérez, A; Calvo, G; Gonzáles, J. 2001. La importancia del manejo de la cuenca del río Reventazón. Turrialba, CR, ICE-UIPRE. 16 p.
- Peters, G; Samper, M. 2001. Café de Costa Rica: un viaje a lo largo de su historia. San José, CR. ICAFE (Instituto Nacional del Café). 195 p.
- Pratt, L; Olson, N. 1997. Sector turismo en Costa Rica: análisis y sostenibilidad. San José, CR, CLACDS (Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible), INCAE (Instituto Centroamericano Administración de Empresas). 43 p.
- Quesada, I. 2001. Ocupación del territorio en San Carlos de Alajuela: flujos migratorios y precarismo rural (1954-1984). Anuario de Estudios Centroamericanos 27(2):101-120. San José, CR, Universidad de Costa Rica.
- Rodríguez, M. 2000. El desarrollo del sistema de pago por servicios ambientales en Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 26 p.
- Rodríguez, O. 2002. Evaluación del potencial turístico de las aves como contribución al desarrollo sostenible en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Tapantí Macizo de la Muerte, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 97 p.
- Sánchez Azofeifa, G; Quesada Mateo, C; González Quesada, S; Dayanandan. KS; Bawas, K. 1999. Protected areas and conservation biodiversity in the tropics. Conservation Biology 13(2):407-411.
- SINAC-MINAE (Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica - Ministerio del Ambiente y Energía, CR). 2003. Informe nacional sobre el sistema de áreas silvestres protegidas (en línea). San José, CR. 70 p. Consultado el 9/01/2004. Disponible en <http://www.inbio.ac.cr>
- Ureña, A. 1990. Reseña histórica del cantón de Dota. San José, CR. 379 p.
- Vega, M. 1996. Cambios en la sociedad costarricense en las décadas de los ochenta y noventa. Anuario de Estudios Centroamericanos 22(2):129-146. San José, CR, Universidad de Costa Rica.

# Zonificación de la cobertura forestal a escala de paisaje en el cantón Hojancha, Costa Rica<sup>1</sup>

**Manuel Enrique Serrano Dávila<sup>2</sup>;**  
**José Joaquín Campos<sup>3</sup>;**  
**Róger Villalobos<sup>4</sup>; Glenn Galloway<sup>5</sup>;**  
**Bernal Herrera<sup>6</sup>**

Es importante que los actores encargados de liderar los procesos de conservación y desarrollo, tomen en cuenta el enfoque del manejo de recursos naturales a escala de paisaje; solamente así será posible tener una visión amplia de las necesidades y prioridades del cantón, además de las líneas de acción que hay que empezar a ejecutar y que respondan a las condiciones socioambientales que son comunes a toda la población.



Fotos: Manuel Serrano.

<sup>1</sup> Basado en Serrano, M. 2005. Evaluación y planificación del manejo forestal sostenible en escala de paisaje en Hojancha, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 150 p.  
<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, CATIE. serranom@catie.ac.cr  
<sup>3</sup> Cátedra Latinoamericana de Gestión de Territorios Forestales, CATIE. jcampos@catie.ac.cr  
<sup>4</sup> Cátedra Latinoamericana de Gestión de Territorios Forestales, CATIE. rvillalo@catie.ac.cr  
<sup>5</sup> Decano de la Escuela de Posgrado, CATIE. galloway@catie.ac.cr  
<sup>6</sup> The Nature Conservancy Costa Rica Country Program. bherrera@tnc.org

## Resumen

Este estudio desarrolla una propuesta de ordenamiento de los ecosistemas forestales en el cantón de Hojancha, Costa Rica, en función de tres elementos claves: conocimientos de la población local, producción forestal y uso del suelo. El objetivo general de investigación fue contribuir a la planificación integral de la producción forestal sostenible y de la conservación ambiental a escala de paisaje en el cantón. Para esto se recopiló información sobre la oferta forestal, la demanda de madera, el conocimiento local, la capacidad de uso y el uso actual del suelo y el vínculo entre producción y conservación en el cantón.

La metodología utilizada descansa en tres ejes: el sistema de información geográfica, las perspectivas locales y el *software* de manejo forestal SILVIA, el cual se centra en el ordenamiento de la producción forestal.

Los resultados del estudio demuestran que aproximadamente un 70% del área del cantón se encuentra bajo un uso adecuado del suelo, y que se han dado avances significativos en la recuperación de la cobertura forestal y la restauración del paisaje. Esta recuperación se ha logrado gracias a la acertada labor de extensión forestal impulsada por las organizaciones del cantón, la necesidad de buscar nuevas alternativas de producción después de la crisis ganadera y el desarrollo de las políticas ambientales tendientes al adecuado manejo de los recursos naturales. El principal reto en Hojancha, en cuanto al ordenamiento territorial, es poner en práctica las herramientas que se han generado para este fin. Este estudio se complementa con iniciativas como el Plan Regulador elaborado por la Municipalidad de Hojancha, el cual es el instrumento director de desarrollo del cantón.

**Palabras claves:** Manejo forestal; ordenación de tierras; ecosistema; producción forestal; paisajismo; cobertura forestal; Hojancha; Costa Rica.

## Summary

**Determination of landscape forest cover in Hojancha, Costa Rica.** The management of forest ecosystems is the arrangement of the human use of forest resources and of the interactions between humans and these ecosystems. The study's main objective was to contribute to an integrated planning for sustainable forest production and environmental conservation at the landscape scale in Hojancha. In order to do so, information was collected. The main objective was to contribute to an integrated planning for sustainable forest production and environmental conservation at a landscape level in Hojancha. In order to do so, information was collected on forest supply, demand for timber, knowledge of the local community, land use capacity and the actual use of and the synergies between production and conservation in the county. Also, the links between production and conservation in the county were analyzed. The methodology was founded on three basic tools: the geographic information system, the local perspectives, and the forest management software SILVIA for forest production management.

The research results showed that approximately 70% of the county's area is under appropriate land use, and forest cover restoration has reached important advances. Restoration has been influenced by the effective work of forest extension organizations in the county, the need of new production alternatives as a consequence of the livestock crisis, and the development of environmental policies for an adequate management of resources. In relation to land use, the main challenge in Hojancha is to implement tools already designed. This study complements the Regulating Plan developed by the municipal government, as the development leading instrument in the county.

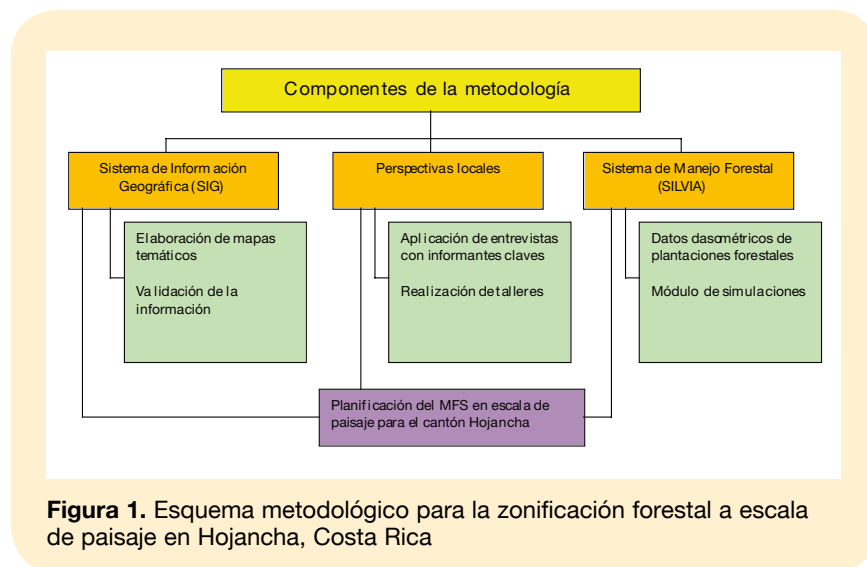
**Keywords:** Forest management; land use organization; ecosystem; forest production; landscape; forest cover; Hojancha; Costa Rica.

## Introducción

En los últimos dos decenios, las crecientes preocupaciones relacionadas con la ordenación forestal han empujado a los países a entablar un diálogo centrado en el desarrollo de iniciativas que fomenten la adopción de prácticas sostenibles. La vinculación entre la ordenación y el desarrollo sostenible evolucionó durante la Cumbre de la Tierra celebrada en 1992 en Río de Janeiro, la cual resalta que los recursos forestales son indispensables tanto para el desarrollo como para la preservación del medio ambiente mundial (capítulo 11, Sección II del Programa 21). Su utilización racional puede crear empleos, ayudar a mitigar la pobreza y ofrecer una valiosa gama de productos (CNUMAD 1992).

La Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Johannesburgo 2002) reiteró el compromiso con el desarrollo sostenible. Alrededor de 40 organizaciones internacionales, en el marco de unos 20 acuerdos, han impulsado el establecimiento de asociaciones mundiales para la ejecución de la ordenación forestal sostenible (Pandey 2003). En este contexto, la silvicultura que no logra satisfacer las necesidades de las poblaciones locales, o no respeta los procesos de los ecosistemas locales o del paisaje, tiene escasa posibilidad de ser sostenible (Kimmins 2003).

El cantón de Hojancha no escapa a la problemática antes descrita. En los últimos 30 años, la región sufrió una severa crisis ganadera; en consecuencia, la población local empezó a buscar alternativas de supervivencia y mitigación de la alarmante migración que se dio en 1970. En esa década, alrededor del 57% de la población abandonó sus sistemas productivos (Salazar 2003). Así, en Hojancha se impulsaron procesos de restauración del paisaje y se puso énfasis en la explotación de la madera; no obstante, el uso no planificado del suelo y la falta de control



**Figura 1.** Esquema metodológico para la zonificación forestal a escala de paisaje en Hojancha, Costa Rica

ambiental de las actividades, obras y proyectos han generado nuevos problemas que se traducen en el deterioro del medio ambiente.

Esta investigación genera y analiza información relevante de la situación actual forestal con el propósito de contribuir a la planificación integral de la producción forestal sostenible y de la conservación ambiental a escala de paisaje en el cantón.

## Materiales y métodos

La metodología empleada se sustenta en tres componentes fundamentales: el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG), la percepción de la población local, y el apoyo del Sistema de Manejo Forestal SILVIA (Fig. 1). Estos tres componentes han permitido articular diferentes aspectos del manejo de recursos a escala de paisaje.

### El sistema de información geográfica

Con el fin de identificar la situación actual de la cobertura forestal en el cantón y de desarrollar una propuesta de ordenamiento espacial de esta cobertura, la investigación se apoyó en el uso del SIG. En este componente se destacaron tres aspectos: la situación actual del cantón, la capacidad de uso y los conflictos de uso del suelo Sánchez (1997).

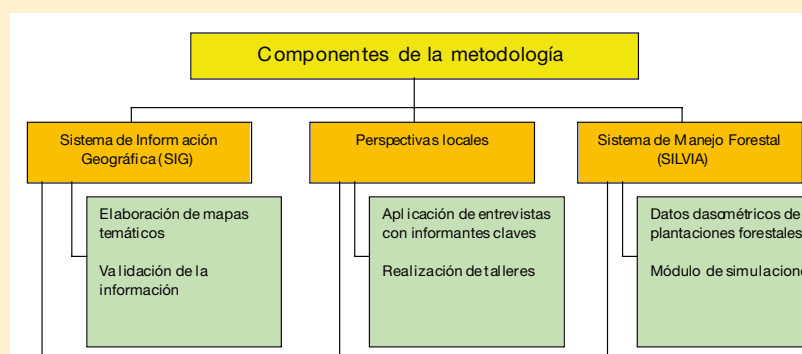
Para generar el mapa de uso actual del suelo, y a partir de las curvas de nivel y la cobertura de ríos, se derivó un modelo de elevación digital (MED) del área de estudio con una resolución espacial de cinco metros. Este MED se utilizó como base para la orto-rectificación de las fotos aéreas del Proyecto Carta 2003. El uso de la tierra se digitalizó a partir de las ortofotos, con base en las categorías de uso de la tierra establecidas (Cuadro 2).

En la creación del mapa de capacidad de uso del suelo se usaron como base los mapas generados por la Fundación Neotrópica -del año 1995- que contemplan todo el país a una escala de 1:50.000. Para el mapa de conflictos de uso se asignaron dos valores: uso correcto y sobreuso. No se tomó en cuenta la subutilización para evitar la intervención en áreas que están bajo procesos de recuperación forestal.

Para la definición de uso correcto o sobreuso se elaboró una matriz de asignación de usos (Cuadro 1), la cual consiste en cruzar las categorías del mapa de capacidad de uso con las del uso actual y así identificar si el área analizada corresponde a un uso adecuado o no. Por ejemplo, si en el mapa de capacidad de uso una determinada área corresponde al uso de protección forestal y en

**Cuadro 1.**  
Matriz de asignación de uso del suelo en Hojancha

Uso actual	Bosque natural y regeneración	Plantaciones forestales	Cultivos	Pasto con árboles	Pasto	Charrales y tacotales
Capacidad de uso						
Agricultura	Uso correcto	Uso correcto	Uso correcto	Uso correcto	Uso correcto	Uso correcto
Reforestación y cultivos permanentes	Uso correcto	Uso correcto	Uso correcto	Sobre-uso	Sobre-uso	Uso correcto
Manejo de bosque nativo y regeneración natural	Uso correcto	Sobre-uso	Sobre-uso	Sobre-uso	Sobre-uso	Uso correcto
Conservación bajo pago por servicios ambientales	Uso correcto	Uso correcto	Sobre-uso	Sobre-uso	Sobre-uso	Uso correcto
Conservación de flora y fauna	Uso correcto	Sobre-uso	No aplica	Sobre-uso	Sobre-uso	Uso correcto
Protección	Uso correcto	Sobre-uso	Sobre-uso	Sobre-uso	Sobre-uso	Uso correcto



**Figura 2.** Flujo del ordenamiento de la cobertura forestal en Hojancha

el mapa de uso actual se encuentra bajo cultivos agrícolas, se tendrá como resultado un área definida como sobreuso (Cuadro 1).

El mapa de ordenamiento de la cobertura forestal, además de los insumos anteriores, tomó en cuenta las áreas protegidas, las restricciones legales (protección de ríos y quebradas), los acuíferos, las posibilidades de conectividad entre los parches de bosque y la conversión de sobre-usos a usos correctos. Esta investigación pretende ser un aporte al fortalecimiento de la iniciativa del Corredor Biológico Chorotega, que contempla la zona de estudio. La Fig. 2 ilustra el procedimiento del ordenamiento de la cobertura forestal explicado anteriormente.

### Las percepciones de la población local

La percepción de los pobladores locales se abordó desde dos entradas diferentes pero complementarias: 1) entrevistas a personas vinculadas con las actividades de producción forestal y de conservación de la biodiversidad, y 2) talleres con varios actores para conversar y analizar los temas antes mencionados.

La entrevista semiestructurada es un instrumento para fomentar el diálogo e intercambio; es una herramienta flexible (que permite agregar preguntas) y adaptable, ya que la secuencia de preguntas puede variarse (Stoian 2004).

Con el fin de identificar los puntos que se deberían fortalecer

posteriormente se aplicaron dos ejercicios FODA; esta es una herramienta esencial para generar los insumos necesarios para el proceso de planeación estratégica y para la implementación de acciones y medidas correctivas, o nuevos y mejores proyectos que en el futuro se pueden generar (IPN 2002). Las entrevistas y los talleres fueron importantes para determinar la visión individual y colectiva de los diferentes actores del cantón, en cuanto a los procesos de conservación y desarrollo que diferentes organizaciones locales o regionales han venido impulsando.

Además, a través de la aplicación de estas herramientas se generó información relacionada con el entorno institucional y el marco político-legal. Las entrevistas mantenidas con las autoridades de instituciones como la Municipalidad de Hojancha, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el Ministerio de Agricultura (MAG), el Corredor Biológico Chorotega, la Fundación Monte Alto, el Centro Agrícola Cantonal de Hojancha (CACH) y el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), dieron una visión amplia sobre la gestión ambiental que se ha venido impulsando en el



cantón y las potencialidades presentes para llevar adelante propuestas que requieren de la coordinación interinstitucional.

### El sistema de manejo forestal SILVIA

SILVIA es una herramienta para el manejo forestal (Jiménez 2003). SILVIA está conformado por un conjunto de programas desarrollados por el CATIE para el manejo de proyectos forestales a corto, mediano y largo plazo; esta herramienta permite definir el manejo técnico, ordenado y sostenible de un proyecto forestal con base en criterios técnicos y financieros (CATIE 2004).

En Hojancha, las plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) son las de mayor presencia e importancia para su desarrollo forestal. SILVIA permitió estimar el volumen actual de estas especies y proyectar el crecimiento de los rodales, con el fin de visualizar el comportamiento de la oferta en el futuro e identificar elementos que pueden ser claves para fortalecer y consolidar el manejo de las plantaciones.

En este estudio se escogieron modelos trabajados con información recopilada en el área de investigación o en sus alrededores. En este sentido, los resultados deberían considerarse como preliminares; sin embargo, se ha usado la mejor información disponible por lo que los cálculos y las proyecciones cumplen con fines ilustrativos. El estudio no determinó con detalle las calidades de sitio presentes en Hojancha debido principalmente a la alta variabilidad (en áreas pequeñas es posible encontrar varias calidades de sitio).

Además, se recopiló información sobre mercados y precios de madera de plantaciones forestales, lo que influye en su viabilidad como sistema de producción, para tener una mejor idea de la demanda que actualmente tiene la madera que

Los bosques primarios, bosques secundarios y bosques ribereños corresponden a la categoría de uso del suelo que ha ganado espacio en los últimos años en Hojancha pues hay muestras de una importante recuperación en las últimas tres décadas pasando de una cobertura del 8% en 1973 al 41% en el 2005.

sale de Hojancha y las razones por las cuales los productores se deciden por la producción de teca o melina.

La articulación de la información generada de estos tres componentes de la metodología, generó la propuesta de zonificación de la cobertura forestal. Este ejercicio, como en cualquier proceso de planificación integral del uso del suelo, presenta cierto nivel de complejidad, pues dicha planificación está en función de las condiciones biofísicas, políticas y socioeconómicas presentes en un determinado lugar.

El estado actual y la problemática del uso del suelo en el cantón

fueron importantes para orientar espacialmente la planificación del uso de la tierra. A ello se sumó la información proporcionada por los actores locales la cual dio una mejor idea de las razones del uso y el nivel de “flexibilidad” que hay que tener en el momento de la zonificación en términos de encontrar el equilibrio entre producción y conservación. El uso de SILVIA ayudó a establecer el comportamiento actual de la producción de madera y la estimación a futuro, con lo que fue posible identificar algunos elementos que podrían ser útiles para mejorar el manejo de plantaciones forestales que es uno de los principales sistemas de producción de Hojancha.

### Resultados y discusión

#### Ordenamiento espacial de la cobertura forestal en Hojancha

El uso actual del suelo en Hojancha contempla siete categorías de uso (Cuadro 2). En el presente documento haremos énfasis en los resultados relacionados a la cobertura vegetal.

#### Bosque y regeneración natural.-

El bosque y la regeneración natural ocupan en total 12.709 ha (48,5% de la superficie total). Estas categorías de uso han ganado espacio en los últimos años pues hay muestras de una importante recuperación en las últimas tres décadas pasando de una

**Cuadro 2.** Categorías agrupadas y áreas totales de uso actual del suelo en Hojancha. Año 2005

Categorías de uso	Área total (ha)	Área (%)
Bosque y regeneración natural	10.645	40,6
Plantaciones forestales	2.064	7,9
Cultivos y sistemas agroforestales	526	2,0
Pastos con árboles	1.931	7,4
Pastos	7.848	29,9
Asentamientos humanos	134	0,5
Charrales y tacotales	3.092	11,8
Total	26.240	100,0

cobertura del 8% en 1973 al 41% en el 2005 (Fig. 3). En esta categoría se incluyen bosques primarios, bosques secundarios y bosques ribereños.

**Plantaciones forestales.-** Las plantaciones forestales se iniciaron en el año 1977, con la creación del Centro Agrícola Cantonal de Hojanca (CACH) (Murillo 1985). En 1978 se empezó con aproximadamente 2 ha, hacia 1985 se alcanzaron 143 ha, en 1992 1204 ha (Campos et ál. 1992) y en el 2005 2064 ha.

**Charrales y tacotales.-** Se estima que en 1982 el área de tacotal rondaba las 2886 ha (Herz 1995); en 1985 unas 2230 ha (Campos et ál. 1992). Para el 2005 los resultados de este estudio indican un

cobertura de 3092 ha. Los charrales o tacotales son espacios usados de acuerdo a las necesidades inmediatas de producción que están muy relacionadas al clima. Es importante considerar que gran parte de los charrales están compuestos por vegetación arbustiva característica de los primeros estados de la sucesión secundaria que no necesariamente llega a considerarse como bosque secundario y que es más susceptible a ser convertida a usos agrícolas. Por esta razón, en el presente estudio las categorías de bosque y bosque secundario y la de charrales y tacotales son diferenciadas, a pesar de que el charral es una fase de la regeneración natural.

### Capacidad de uso del suelo en Hojanca

Según el mapa de capacidad de uso del suelo, el 74% del territorio del cantón se debería destinar a alguna forma de cobertura forestal (Cuadro 3).

Tomando en cuenta que dentro de las categorías de capacidad de uso identificadas por la Fundación Neotrópica hay algunas muy similares en cuanto a pendiente y uso recomendado, se agruparon algunas categorías comunes con las que se trabajó. El Cuadro 4 indica las categorías que fueron agrupadas en el presente estudio.

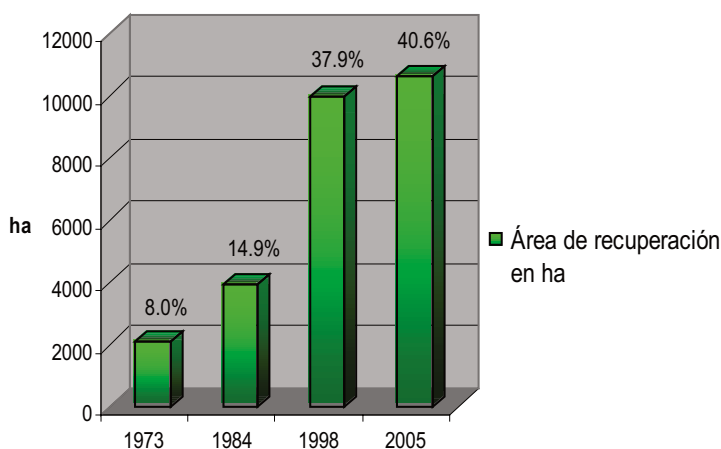
### Conflictos de uso del suelo en Hojanca

La mayor parte del cantón se encuentra bajo un uso del suelo adecuado (71,2%) (Cuadro 5). A pesar de que el 28,8% de sobreuso no se considera alto, es deseable reducir estas áreas particularmente en las zonas de recarga acuífera y en zonas a lo largo de los cauces de los ríos y quebradas. Esto mejoraría la provisión de servicios ecosistémicos asociados a los recursos hídricos y a la biodiversidad.

### Zonificación de la cobertura forestal en Hojanca

La propuesta de zonificación de la cobertura forestal (Fig. 4), contempla los principales usos que se debieran desarrollar en Hojanca, de acuerdo con la capacidad de uso, las percepciones de la población local y las estimaciones realizadas por SILVIA.

El paisaje del cantón debería estar bajo cobertura forestal en diferentes sistemas de uso, ya sea para aprovechamiento comercial, para ecoturismo o para la conservación de la biodiversidad y de los recursos hídricos. Si se juntan todas las categorías que tienen que ver con cobertura forestal, se tendría que el 81,8% del cantón debería destinarse para este fin. Esto va de la mano con



**Figura 3.** Recuperación de la cobertura forestal en Hojanca, periodo 1973-2005

**Cuadro 3.** Categorías y áreas de capacidad de uso del suelo en Hojanca

Categoría de capacidad de uso	Área total (ha)	Área total (%)
1. Agricultura y pastos	6.719	25,6
2. Reforestación y cultivos permanentes	6.438	24,5
3. Manejo de bosque nativo y bosque secundario	6.384	24,3
4. Conservación	224	0,9
5. Conservación de flora y fauna	771	2,9
6. Protección	5.704	21,7
<b>Total</b>	<b>26.240</b>	<b>100,0</b>

la capacidad de uso, que reporta que más o menos el 75% del cantón se debe utilizar bajo cualquier sistema de cobertura forestal. El Cuadro 6 presenta un resumen de la distribución de las categorías propuestas en el cantón.

En el marco de la zonificación se detalla a continuación la propuesta de uso de las dos principales categorías vinculadas con la cobertura forestal y que forman parte de los usos propuestos en la presente investigación.

**Bosque natural y regeneración.-** Esta categoría se ubica principalmente desde la parte central del cantón hacia el sur (Fig. 4), desde los sectores que corresponden a Guapinol y Monte Romo, hasta la parte de Puerto Carrillo y el límite sureste y suroeste del cantón que forman parte de los límites con Nandayure y Nicoya respectivamente. La superficie de esta categoría actualmente es de 10.645 ha (40,6%) y se propone aumentarla a 12.082 ha (46,0%) (Cuadro 6). Actualmente en las áreas de bosque natural y regeneración no se están desarrollando actividades de aprovechamiento forestal, debido a que la legislación es estricta en cuanto al cambio de uso del suelo y a que

gran parte de los bosques secundarios están en plena recuperación. Por otro lado, el Corredor Biológico Chorotega juega un rol importante en cuanto a la recuperación de la cobertura forestal y la identificación

de áreas de conectividad entre los parches de bosque. En este sentido se prevé que en unos 15 ó 20 años podría ser posible encontrar especies forestales de interés comercial bajo esta cobertura.

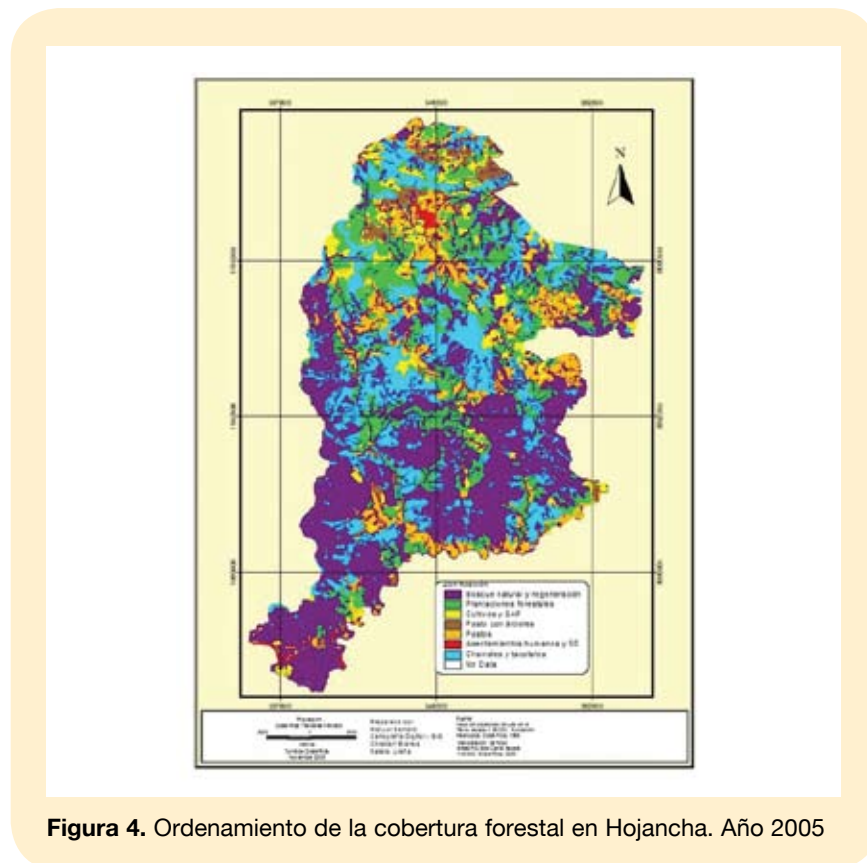


Figura 4. Ordenamiento de la cobertura forestal en Hojancha. Año 2005

**Cuadro 4.**

Agrupación de las categorías de capacidad de uso del suelo en Hojancha

Categorías asignadas	Categorías agrupadas	Característica
Agricultura y pastos	Terrenos con capacidad de uso tipo A	Tierras aptas para cultivos y pastos. Clases forestales I, II, III, IV y V. Pendientes menores al 30%
Reforestación y cultivos permanentes	Terrenos con capacidad de uso tipo VI 5 y VI 5e	Tierras aptas para uso forestal y cultivos permanentes como café, con pendientes de hasta el 40%
Manejo de bosque nativo y regeneración natural	Terrenos con capacidad de uso tipo VII 6, VII 6e hasta VI 6p	Terrenos con pendientes entre 30% y 70% con procesos de erosión que no reúnen las condiciones para realizar actividades agrícolas (solamente determinadas actividades de producción forestal bajo estrictos procesos de control)
Conservación	Terrenos con capacidad de uso tipo VIII 5p	Tierras para la conservación de flora y fauna, con pendientes entre 30% y 50%; se pueden establecer plantaciones forestales con fines de protección.
Conservación de flora y fauna	Terrenos con capacidad de uso tipo VIII 6	Tierras con pendientes entre 50% y 75% destinadas a la conservación de flora y fauna y que deben estar bajo cobertura forestal natural.
Protección	Terrenos con capacidad de uso tipo VIII 7 y VIII 7p	Terrenos con pendientes mayores al 75%. No reúnen las condiciones mínimas para el desarrollo de actividades de producción agropecuaria o forestal alguna. Suelo muy delgado o bien sujeto a un proceso de erosión.

En sectores como Cuesta Roja, Guapinol y El Jobo, es necesario desarrollar actividades de conservación pues en estas zonas es donde se tienen más problemas en cuanto a conectividad de parches de bosques. Además, hay zonas donde se pueden impulsar los programas de pago por servicios ambientales (PSA) que están claramente identificadas en el mapa de zonificación de la cobertura forestal (específicamente la parte sureste del cantón).

**Plantaciones forestales.**-La superficie bajo esta cobertura actualmente es de 2.064 ha (7,8% de la superficie total). Se propone aumentar esta área a 4.355 ha (16,6%), lo que se enmarca dentro de lo que establece la capacidad de uso del cantón (Cuadro 6). La pendiente mayor que se debería considerar para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales con fines de producción es del 40%, considerando que la melina puede crecer en estas condiciones topográficas.

La propuesta señala que las plantaciones forestales se deberían

ubicar, en su mayor parte, al norte del cantón, donde el acceso facilitaría mucho las labores de aprovechamiento forestal. Esto no quiere decir que la posibilidad se cierra a estos sectores, sino que según esta propuesta, es ahí donde se debería centrar la producción forestal, a pesar de que en la parte este y sur del cantón hay sitios que podrían ser dedicados para estos fines.

#### La percepción de la población local

Según la población local, las plantaciones forestales se iniciaron en Hojancha producto de dos momentos: la caída del precio del ganado en los años 70 y la extensión forestal llevada a cabo por el Centro Agrícola Cantonal de Hojancha (CACH) y el proyecto MADELEÑA ejecutado por el CATIE en la zona. Sin embargo, en un principio no se esperaba que esta actividad se convirtiera en una alternativa económica para la población. No obstante, en el proceso la población desarrolló cierto

nivel de conocimiento que convirtió esta actividad en una opción económica. Lo anterior desembocó en el funcionamiento de todo un sistema en donde se empezaron a vincular otros actores que no necesariamente eran productores, pero que obtenían ingresos producto de esta actividad. De acuerdo a lo observado en el cantón, en algunos casos se ha logrado, inclusive, establecer una cadena productiva en torno a la madera, que abarca desde la producción, pasando por la transformación y llegando a la comercialización. Tal es el caso del CACH, por ejemplo.

Por otro lado, según los pobladores locales, también han habido inconvenientes en torno al funcionamiento de este sistema. Por una parte, la fluctuación de los precios de la madera ha contribuido en ciertos momentos a desmotivar a los productores; y por otra, la capacitación ha perdido fuerza en el cantón. Debe sumarse a esto algunos otros aspectos como la reducción de los montos de incentivos para la reforestación, la ubicación inadecuada de algunas plantaciones, la no orientación inicial de los incentivos forestales al establecimiento de plantaciones forestales como una actividad comercial, y la presencia de empresas grandes que limitan la capacidad de competir de los pequeños productores.

La conservación de la biodiversidad tiene especial interés entre la población de Hojancha, donde en los últimos años las iniciativas de conservación vienen tomando fuerza. Las razones planteadas indican que la conciencia de contar con reservas de agua es muy importante para las familias; el ecoturismo está surgiendo en el cantón y es necesario contar con bosques en buen estado de conservación; y los esfuerzos que se han desarrollado en relación a la investigación y conservación de la biodiversidad de parte de la iniciativa del Corredor Biológico Chorotega y la Fundación Monte Alto.

**Cuadro 5.**  
Categorías y áreas de conflicto de uso en Hojancha

Categorías de conflicto de uso	Área total (ha)	Área total (%)
Uso correcto	18.695	71,2
Sobreuso	7.545	28,8
<b>Total</b>	<b>26.240</b>	<b>100,0</b>

**Cuadro 6.**  
Área actual y propuesta de zonificación de las diferentes coberturas en Hojancha

Categoría	Área actual (ha)	%	Área propuesta (ha)	%
Bosque natural y regeneración	10.645	40,6	12.082	46,0
Plantaciones forestales	2.065	7,9	4.355	16,6
Cultivos y SAF	526	2,0	1.461	5,6
Pastos con árboles	1.931	7,4	715	2,7
Pastos	7.848	29,8	2.467	9,5
Asentamientos humanos	133	0,5	160	0,6
Charrales y tacotales	3.092	11,8	5.000	19,0
<b>Total</b>	<b>26.240</b>	<b>100</b>	<b>26.240</b>	<b>100</b>

Pese a este panorama alentador para la conservación, también se exponen algunas ideas que generan incertidumbre en la población y que de alguna manera podría afectar la recuperación de las áreas de cobertura forestal. Por ejemplo, se ha notado una recuperación en el precio del ganado, lo que eventualmente podría desatar un interés por el establecimiento de pastos.

Ahora bien, de acuerdo a las entrevistas, los talleres y las conversaciones informales, en ningún momento se evidenció que la actividad forestal sea una amenaza para la conservación o viceversa. El criterio generalizado radica en que estas dos actividades se pueden desarrollar sin ningún problema, siempre y cuando se trabaje sobre la base de los elementos técnicos y el marco legal adecuado para regular estas acciones.

Finalmente, es preciso enfatizar que la oportunidad de tener una experiencia de este tipo, en donde la conservación y la producción pueden ir de la mano, es conveniente para Hojancha, un lugar con características interesantes para estudiar y visitar. En este contexto se abren nuevas oportunidades orientadas a la conservación y manejo de los recursos naturales para desarrollar programas que vengán a fortalecer estas iniciativas con el apoyo de la comunidad internacional.

### Oferta y demanda de la producción forestal en Hojancha

La estimación del volumen comercial de madera se concentra en dos especies: teca y melina. El perfil de manejo asignado a los rodales para los cálculos presentados más adelante fueron generados de acuerdo a la experiencia de varios productores que vienen trabajando desde hace varios años en la actividad forestal. El perfil de manejo asignado en Silvia para las plantaciones de teca corresponde a:

Densidad de plantación: 1111 árboles/ha (3 m \* 3 m)

Rotación estimada: 20 años

Programa de raleo:

Edad (años)	4	8	12
% de raleo	50	50	40
No. árboles remanentes	555	277	166

Fuente: Perfil empírico asignado en SILVIA

Las plantaciones de melina se encuentran en sitios de mediana calidad (Vásquez y Ugalde 1995). El perfil de manejo asignado en función de la experiencia de los productores es:

Densidad de plantación: 1111 árboles/ha (3 m \* 3 m)

Rotación estimada: 15 años

Programa de raleo:

Edad (años)	3	5	7
% de raleo	50	50	25
No. árboles remanentes	555	277	206

Fuente: Perfil empírico asignado en SILVIA

En el Cuadro 7 se resumen los totales de la oferta forestal de teca y melina. Los volúmenes estimados para la corta final y raleos no se los debe restar de la madera en pie, ya que son estimaciones independientes; es decir, los cálculos de volumen en pie son los que quedarían una vez realizadas las actividades de corta final y raleos para el 2005 (cuando se realizaron los cálculos).

Los resultados anteriores, aunque han sido generados con la mejor información disponible, deben considerarse como preliminares pues todavía es necesaria más información para tener resultados más confiables. Otro elemento que es necesari-

rio considerar en este cálculo es que en muchos rodales no se realizaron los raleos a tiempo y, debido a ello, es que se indica un alto volumen de madera a ralear. Las estimaciones se han realizado tomando información de rodales donde no necesariamente se está cumpliendo con las actividades silviculturales de una manera oportuna, lo que es otro motivo para que esta información sea un primer esfuerzo para tener una idea de la oferta actual de madera.

El aserradero del CACH es el que tiene la mayor capacidad de aserrío, siendo el principal centro de compra y venta de madera que sale del cantón. De acuerdo a Salazar (2003) en 1992 el aserradero del CACH procesaba mensualmente un aproximado de 50.000 pulgadas madereras ticas (154 m<sup>3</sup>)<sup>7</sup>. En la actualidad, sobre la base de las estimaciones desarrolladas con los flujos de madera del aserradero para los años 2004 y la mitad del año 2005, se estima que se procesa mensualmente un promedio de 70.000 pulgadas correspondientes a 215,4 m<sup>3</sup>.

Las especies mayormente comercializadas por el aserradero del CACH son teca y melina; la Fig. 5 muestra las cantidades comercializadas de estas especies para el año 2004 y el periodo enero-abril del 2005.

Existen otros dos aserraderos en los alrededores de Hojancha, sin embargo, no cuentan con registros sistemáticos que permitan tener una mejor idea de su capacidad de producción.

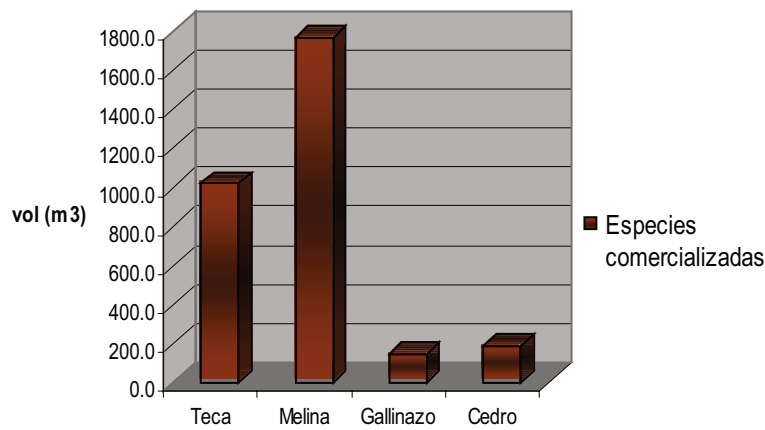
Hay otros consumidores que

**Cuadro 7.**  
Volúmenes totales de teca y melina presentes en Hojancha

Especies	Volumen (m <sup>3</sup> )			
	Remanente	Corta final	Raleos	Cosecha total
Teca	31.606	1.783	33.257	35.040
Melina	7.474	15.741	29.366	45.107

Fuente: Cálculos estimados por SILVIA

<sup>7</sup> Un m<sup>3</sup> equivalente a 325 pulgadas madereras ticas, según la circular 01-2004 dirigida a la Fiscalía Ejecutiva del Área Forestal por el Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica.



**Figura 5.** Volumen de madera comercializada por el CACH durante enero del 2004 hasta abril del 2005

demandan estas especies como son el aserradero de La Mansión, la empresa Panamerican Wood, los compradores indúes y los aserraderos pequeños de la zona. En este marco, se ha podido observar que la mayor parte de la madera de estas especies producida en el cantón se consume internamente. Contrariamente a lo observado con el consumo de las especies nativas que en su mayoría sale hacia el Valle Central.

### Conclusiones

Hojancha presenta una condición aceptable de uso del suelo considerando que el 71% del cantón está bajo un uso correcto, lo que sugiere que el estado del paisaje en el cantón presenta muestras importantes de recuperación (de 8% a 41% de cobertura forestal, además de un 8% de plantaciones forestales).

El cantón cuenta con alrededor de 2300 ha que pueden ser usadas para el establecimiento y aprovechamiento de plantaciones forestales, lo cual demuestra la vocación forestal de Hojancha. Precisamente dentro de los cambios de uso del suelo que se sugieren, está la conversión de áreas de pastizales en plantaciones forestales o en la regeneración natural de la cobertura forestal.

Hojancha ha desarrollado un importante sentido de compromiso institucional por el cantón; es decir, las instituciones encargadas de todo lo que implica el desarrollo han estado anuentes a juntar esfuerzos en este sentido. A pesar de las limitantes económicas y muchas veces políticas, que son frecuentes en el resto del país, en Hojancha se ha logrado generar este nivel de coordinación que ha permitido lograr impactos importantes en torno al desarrollo cantonal.

En Hojancha también se ha evidenciado la recuperación de bosques secundarios y ribereños; los proyectos de promoción de la actividad forestal, la gestión interinstitucional y el marco legal, han sido importantes para la restauración exitosa de la cobertura forestal en el cantón.

En los diferentes espacios que se han generado con la población local, se ha manifestado que es factible desarrollar actividades de conservación y de producción paralelamente. Los actores piensan que la base para el desarrollo de estas dos actividades es un adecuado ordenamiento de las fincas, aspectos que ya se pueden observar en algunas fincas del cantón.

Hojancha ha desarrollado un importante sentido de compromiso institucional por el cantón; es decir, las instituciones encargadas de todo lo que implica el desarrollo han estado anuentes a juntar esfuerzos en este sentido. A pesar de las limitantes económicas y muchas veces políticas, que son frecuentes en el resto del país, en Hojancha se ha logrado generar este nivel de coordinación que ha permitido lograr impactos importantes en torno al desarrollo cantonal.

En cuanto a la oferta forestal del cantón, la teca y la melina son las que mayormente se cultivan; sin embargo, la teca ha despertado mayor interés en los últimos tiempos debido a la recuperación de su precio y a la demanda de las empresas presentes en la zona.

### Recomendaciones

Es importante que los actores encargados de liderar los procesos de conservación y desarrollo, tomen en cuenta el enfoque del manejo de recursos naturales a escala de paisaje; solamente así será posible tener una visión amplia de las necesidades y prioridades del cantón, además de las líneas de acción que hay que empezar a ejecutar y que respondan a las condiciones socioambientales que son comunes a toda la población.

Sobre la base de lo anterior se sugiere que la presente propuesta debe articularse al Plan Regulador del Cantón, el mismo que debe estar en armonía con los propósitos de conservación y desarrollo del Área de Conservación Tempisque; es decir que es importante tomar en cuenta el análisis multiescala desde la finca hasta la región.

Es necesario establecer claramente varias redes de conectividad ecológica en el paisaje de Hojancha. En este sentido se sugiere que el presente estudio se debería complementar con información más fina sobre la conectividad entre parches y relictos de bosques en el cantón.

Es necesario profundizar en algunos temas que se están insertando con fuerza en el cantón y que pueden convertirse en opciones interesantes, no solo para generar ingresos, sino para desarrollar actividades amigables con el ambiente. Por ejemplo, el tema del ecoturismo se debe analizar con mayor detalle, principalmente la parte socioeconómica de esta actividad, así como el verdadero potencial que el turismo puede ofrecer en Hojancha y el

fomento de una ganadería y caficultura amigable con el ambiente.

Se debería estudiar el potencial de madera que existe en los potreros; se calcula un área de 1931 ha de potreros con árboles. La cobertura forestal de esta área es en promedio del 30%; es decir, del total del área de árboles en potreros, aproximadamente 579 ha están cubiertas por árboles de diferentes especies nativas que se desarrollan en la zona y que son producto de árboles que se dejaron después de haber convertido las áreas de bosque natural a zonas de pastoreo o de la regeneración natural.

Los datos presentados sobre el aprovechamiento de las especies nativas que salen de potreros sugieren levantar información en este tema. También es necesario conocer el estado de la biodiversidad de los potreros presentes en Hojancha con el fin de generar acciones orientadas a mantener estos sistemas productivos que son utilizados por muchos productores en sus economías familiares. El establecimiento y manejo de silvopasturas podría ser una alternativa interesante para mejorar

la productividad de los potreros que de todas maneras son necesarios en el cantón.

A pesar de que desde hace varios años se ha venido capacitando a los productores, es recomendable abordar ciertos temas que no han sido tomados en cuenta o que actualmente podrían contribuir para manejar las plantaciones forestales; tal es el caso del manejo de rebrotes de melina que en muchas ocasiones han sido abandonados, el establecimiento de parcelas permanentes de monitoreo en plantaciones bajo manejo y también la utilización del *software* SILVIA que permitiría ordenar la producción maderera en el futuro.

Se debe mejorar el sistema de PSA que actualmente se da en el cantón. La demora del trámite y la oportunidad de contar con áreas en las fincas para este fin, son dos elementos que se deben analizar para que más productores demuestren interés por el programa. También parece necesario estudiar otras opciones de PSA como los relacionados a los mercados de carbono, que podrían tener potencial en Hojancha. 🌱

## Literatura citada

- Campos, O; Rodríguez, E; Ugalde, L. 1992. Desarrollo agropecuario sostenible en la región de Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 36 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2004. SILVIA (Sistema de Manejo Forestal). Turrialba, CR, CATIE. 1 disco compacto, 8 mm.
- CNUMAD (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo). 1992. Cumbre de la Tierra: resumen de prensa del Programa 21. Río de Janeiro, BR. 45 p.
- IPN (Instituto Politécnico Nacional). 2002. Metodología para el análisis FODA. Dirección de planeación y organización. México, MX. 24 p.
- Jiménez, L. 2003. Aplicaciones de SILVIA en el ordenamiento de las plantaciones forestales del CATIE. Tesis Ing. Forestal. Cartago, CR, ITCR. 107 p.
- Kimmins, J. 2003. Old growth forest: An ancient and stable sylvan equilibrium, or a relatively transitory ecosystem condition that offers people a visual and emotional feast? Answer-it depends. Vancouver, CA, institución/editorial?. págs?
- Murillo, F. 1985. Aportes sobre el papel de la práctica forestal en el desarrollo rural integral, Hojancha-Guanacaste. Informe de práctica de campo. Cartago, CR, ITCR. 135 p.
- Pandey, G. 2003. La ordenación forestal y la evolución de los paradigmas. Roma, IT, FAO. 15 p.
- Salazar, M. 2003. Evaluación de la restauración del paisaje en el cantón de Hojancha, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 98 p.
- Sánchez, A. 1997. Conceptos básicos de cambios en el uso y cobertura de la tierra, ordenamiento territorial y sistemas de información geográfica. Managua, NI. 73 p.
- Serrano, M. 2005. Evaluación y planificación del manejo forestal sostenible en escala de paisaje en Hojancha, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 150 p.
- Stoian, D. 2004. Métodos y herramientas participativas I. Turrialba, CR, CATIE. 12 diapositivas.
- Vásquez, W; Ugalde, L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 33 p. (Serie técnica no. 256).

# Guía de Monitoreo Ecológico: validación de procedimientos metodológicos y enfoques propuestos para un bosque de coníferas manejado en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala<sup>1</sup>

Lorena Estrada Chinchilla<sup>2</sup>;  
Bryan Finegan<sup>3</sup>; Diego Delgado<sup>4</sup>

Uno de los mecanismos importantes para apoyar el buen manejo forestal es la certificación de la madera. En los países consumidores, este mecanismo viene ganando seguidores debido a la preocupación por la pérdida y degradación de los bosques tropicales y, en los países productores, para garantizar el acceso a un rango amplio de mercados. La certificación forestal reconoce la importancia del monitoreo ecológico como herramienta para poder asegurar el manejo cuidadoso de dichos ecosistemas.



Fotos: Lorena Ninel Estrada.

<sup>1</sup> Basado en Estrada, LN. 2005. Estudio comparativo de bosques secundarios de coníferas de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala con énfasis en impactos de manejo forestal. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 111 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, CATIE. lestrada@catie.ac.cr; ninelestrada@hotmail.com

<sup>3</sup> Grupo Bosques, Áreas Protegidas y Biodiversidad, CATIE. bfinegan@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Grupo Bosques, Áreas Protegidas y Biodiversidad, CATIE. ddelgado@catie.ac.cr



## Resumen

El propósito de este estudio fue determinar los impactos del manejo forestal y la variabilidad natural sobre la estructura y composición del rodal y sobre la comunidad de mariposas en un bosque secundario de coníferas de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala. Además, pretendió colaborar con la validación de los enfoques de la Guía de Monitoreo Ecológico desarrollada por Finegan et ál. (2004). Mediante el muestreo de indicadores, se detectaron los niveles de cambio y aceptabilidad de los mismos en un bosque manejado (BPJ), con respecto a un bosque de referencia (BR) sin manejo reciente. Para evaluar la abundancia de árboles y el área basal se establecieron parcelas temporales de 20 m x 50 m; para la apertura del dosel y la estructura vertical se utilizaron parcelas temporales de 10 m x 10 m. La comunidad de mariposas se evaluó en transectos de 150 m. De un total de 17 indicadores fue posible evaluar seis con el protocolo de la Guía, todos con un coeficiente de variación <40%, el cual permitió fijar umbrales de cambio para el BR y activadores para el BPJ. El resto de los indicadores contó con un CV demasiado alto como para ser evaluado. Todos los indicadores evaluados confirman que el manejo es aceptable para este bosque.

**Palabras claves:** Bosque secundario; bosque de coníferas; manejo forestal; estructura vegetativa; composición botánica; monitoreo; mariposas; Reserva de Biosfera Sierra de las Minas; Guatemala.

## Summary

**Ecological Monitoring Guide: Validation of methodological procedures and approaches proposed for a managed coniferous forest in the Biosphere Reserve Sierra de las Minas, Guatemala.** The purpose of this study was to establish the impacts of forest management and natural variability on stand structure and forest composition, and on the butterfly community in a secondary coniferous forest in the Biosphere Reserve Sierra de las Minas, Guatemala. In addition, the study helped to validate the methodology proposed by the Ecological Monitoring Guide developed by Finegan et al. (2004). By sampling indicators, levels of change in the managed forest (BPJ) were detected with respect to a reference forest (BR) with no recent management. Temporary plots 20 m x 50 m were established to evaluate tree abundance and basal area; canopy opening and vertical structure were evaluated in 10 m x 10 m temporary plots. The butterfly community was evaluated along 150 m-transects. From a total 17 indicators, six were evaluated with the monitoring guide protocol. All of the indicators showed a variation coefficient (CV) <40% which permitted to establish 'change thresholds' for the BR and 'activators' for the BPJ. The other indicators showed a CV too high to be evaluated with the protocol. All indicators evaluated confirm that the management is acceptable for this forest.

**Keywords:** Secondary forest; coniferous forest; forest management; vegetative structure; botanical composition; monitoring; butterflies; Biosphere Reserve Sierra de las Minas; Guatemala.

## Introducción

Las coníferas son uno de los recursos más importantes del mundo por su valor maderero y por las funciones ecológicas que desempeñan (Farjon y Page 1999). Guatemala, con una extensión de 108.890 km<sup>2</sup>, tiene un 37%

de su territorio cubierto de bosques, el 80% de los cuales son bosques latifoliados y el 20% restante son bosques de coníferas (Robles et ál. 2000). Los ecosistemas de coníferas son poco conocidos en Guatemala y existe relativamente poca información publicada sobre las coníferas

del país; aproximadamente hay 14 especies de pino, además de las diversas especies arbóreas latifoliadas y caducifolias asociadas naturalmente a los pinares (Escobedo 1997 citado en Morales y Cartín 1997).

Uno de los mecanismos importantes para apoyar el buen manejo

forestal es la certificación de la madera. En los países consumidores, este mecanismo viene ganando seguidores debido a la preocupación por la pérdida y degradación de los bosques tropicales y, en los países productores, para garantizar el acceso a un rango amplio de mercados (Bennett 2000). Dentro del proceso de certificación se ha definido el concepto de bosques de alto valor para la conservación (BAVC), el cual fue desarrollado por el *Forest Stewardship Council* (FSC) con el fin de asegurar que los bosques certificados con atributos especiales para la conservación y la sociedad reciban un trato apropiado. La certificación forestal reconoce la importancia del monitoreo ecológico como herramienta para poder asegurar el manejo cuidadoso de dichos ecosistemas. La idea es que el manejo forestal produzca cambios en el bosque y que el monitoreo ecológico ayude a determinar si los cambios son aceptables o no (Finegan et ál. 2004). Así, los certificadores deben orientar a los manejadores para que desarrollen soluciones efectivas (bajo impacto y ganancias económicas).

El presente estudio pretende colaborar con los esfuerzos de validación de la Guía de Monitoreo Ecológico (Finegan et ál. 2004), desarrollada para apoyar esfuerzos de certificación y buen manejo forestal en bosques latifoliados (Ordóñez 2003, Carrillo 2007). Esta es la primera experiencia de aplicación en bosques de coníferas. Generalmente, los sistemas silviculturales en bosques de coníferas provocan reducciones de abundancia y área basal mayores que en los bosques de latifoliadas; por eso es importante evaluar el impacto de esas acciones de manejo. Con base en la Guía de Monitoreo Ecológico (GME) se utilizaron cuatro indicadores de estructura y composición del rodal y un grupo de especies sensibles a la perturbación:

la comunidad de mariposas. Nuestra hipótesis fue que, según los enfoques de la GME, el manejo no produce cambios inaceptables, ni sobre el rodal del bosque secundario, ni sobre la comunidad de mariposas. Nuestro objetivo fue aplicar los enfoques de la GME y determinar si el manejo de un bosque secundario de coníferas tiene impactos aceptables o no sobre los indicadores de estructura y composición del rodal y sobre la respuesta de la comunidad de mariposas diurnas.

### Materiales y métodos

#### Área de estudio

#### *Reserva de Biosfera Sierra de las Minas*

El estudio se llevó a cabo en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas (RBSM) durante los meses de febrero a junio del 2005. La Reserva se ubica en el nororiente de Guatemala, tiene un área de 242.642 ha e incluye cinco zonas de vida según el sistema de clasificación de Holdridge (1983). La RBSM forma parte de una cadena montañosa que abarca parte de cinco departamentos

de Guatemala, la cual se extiende por aproximadamente 130 km de longitud y 10 a 30 km de ancho, con elevaciones desde el nivel del mar hasta 3015 msnm (FDN 2003). La RBSM está administrada por la Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN). El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) consideró que su alto valor la justifica como una región de conservación (CONAP 1999 citado en FDN 2003). De acuerdo con la guía de identificación de BAVC (Jennings et ál. 2002), la región cumple con los elementos ecológicos de los AVC 1, 2 y 3 (Cuadro 1); parece probable, entonces, que de solicitarse la certificación, el manejo tendría que cumplir con dichos valores para la conservación. Hasta ahora no existen bosques certificados en la Sierra de las Minas<sup>5</sup>.

#### *Fincas que forman parte del área de estudio*

El área de estudio se compone de dos bosques de pino-encino ubicados, el primero, en la Finca La Constancia, colindante con la zona

**Cuadro 1.**  
Bosques de Alto Valor para la Conservación en la Sierra de las Minas

AVC1	Áreas de bosques con concentraciones significativas a nivel global, nacional o regional, de la biodiversidad (p.e., endemismo, especies en peligro, refugios).	La Sierra de las Minas es un importante banco de semillas forestales, con al menos 15 especies de coníferas tropicales, con gran potencial para el aprovechamiento forestal (FDN 2003).
AVC2	Áreas de bosque que contienen paisajes relevantes a nivel global, nacional o regional, que forman parte de o incluyen a la unidad de manejo, donde existen poblaciones viables de la mayoría —o todas— las especies que ocurren naturalmente con patrones naturales de distribución y abundancia.	La mayor cantidad de bosque primario existente en la RBSM está constituida por bosque nuboso y montano, localizados en las partes más altas de la Sierra. La Reserva incluye cinco zonas de vida (FDN 2003).
AVC3	Áreas de bosque que se ubican en o contienen ecosistemas raros, amenazados o en peligro.	Desde el punto de vista del manejo forestal certificado en las zonas de amortiguamiento, la región cumple con los elementos ecológicos que requieren los AVC 1, 2 y 3, por ser un área protegida, contar con una gran proporción de bosques naturales y albergar especies endémicas y amenazadas (FDN 2003).

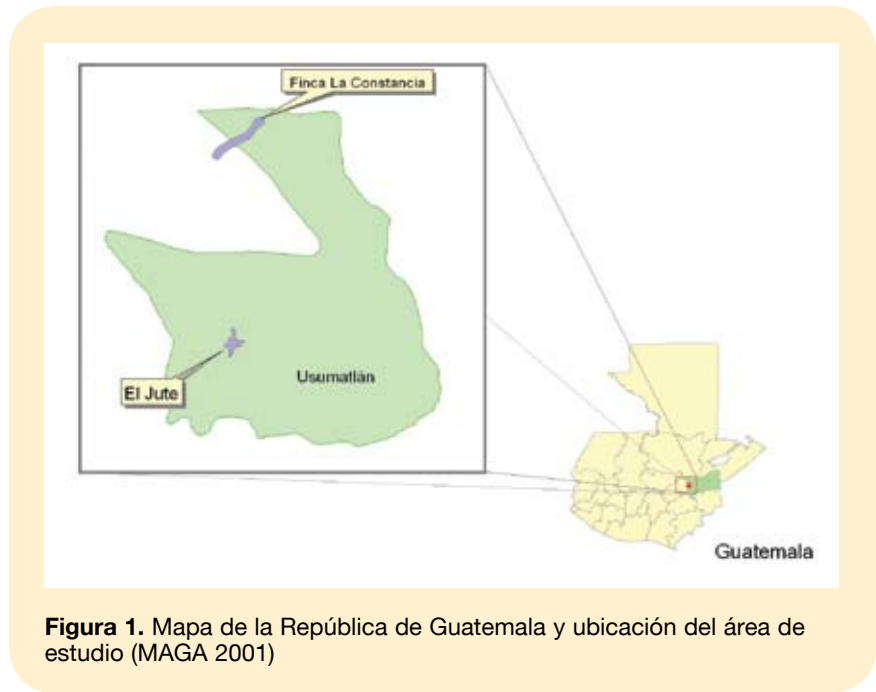
<sup>5</sup> César Tot. Junio, 2004. Director Sierra de las Minas, FDN. Com. pers.

núcleo de la RBSM, el cual no ha sido intervenido recientemente; este se considera como el bosque de referencia (BR). El segundo se ubica en la Finca El Jabalí (BPJ); se trata de un bosque intervenido hace 14 años aproximadamente (Fig. 1). La finca La Constancia se encuentra en su mayor parte dentro de las zonas de vida bosque muy húmedo subtropical frío y bosque pluvial montano bajo (Arreaga 2002a). El Jabalí se encuentra dentro de las zonas de vida bosque húmedo subtropical templado y bosque muy húmedo subtropical frío (Arreaga 2002b). Según el plan de manejo (Arreaga 2002b), el BPJ posee un 91% de bosque natural de coníferas y un 9% de bosque plantado de coníferas. Dentro de esta finca no existe asentamiento humano alguno (Arreaga 2002b).

En el Cuadro 2 se observa el historial de aprovechamiento forestal de los bosques en estudio. El entresaque selectivo practicado en el BPJ, consistió en aumentar la proporción de especies comerciales, entre ellas *Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi*, *Cupresus lusitanica* y *Quercus* spp., sin eliminar las especies no deseables, y eliminar principalmente árboles que compiten directamente con árboles de futura cosecha (Louman et ál. 2001).

### Metodología

La metodología se basa principalmente en la aplicación de los enfoques de la GME (Finegan et ál. 2004) y en los trabajos de Aguilar-Amuchástegui (1999), Jolón (1999) y Ordóñez (2003). Mediante el árbol de decisiones propuesto por la Guía, se seleccionaron cuatro indicadores de filtro grueso: abundancia de árboles, área basal, apertura del dosel en el sotobosque y estructura vertical (cobertura del follaje en diferentes estratos de altura); además se seleccionó un indicador de filtro fino: la comunidad de mariposas diurnas. Estos indicadores se habían utiliza-



**Figura 1.** Mapa de la República de Guatemala y ubicación del área de estudio (MAGA 2001)

do para evaluar y comparar los bosques en un estudio previo (Estrada 2005), a partir de un análisis estadístico tradicional (ANDEVAS). En el presente estudio se compararon los mismos indicadores en dos bosques: el BPJ y el BR, pero esta vez se utilizaron los protocolos de la GME.

### Diseño de muestreo para la evaluación de los indicadores de filtro grueso

En cada uno de los bosques evaluados (BPJ y BR) se establecieron tres transectos de 150 m de largo en el interior del bosque (evitando bordes), separados por 200 m. A lo

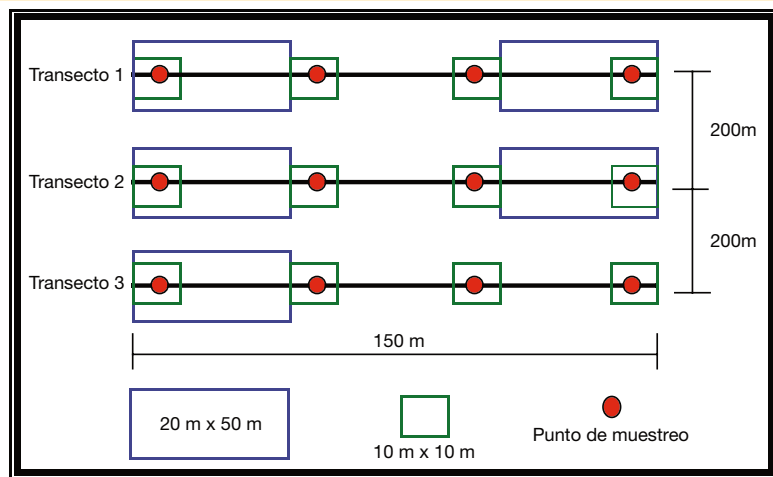
largo de los transectos se establecieron cinco parcelas temporales de 20 m x 50 m y 12 puntos de muestreo en el centro de parcelas temporales de 10 m x 10 m. Los transectos y parcelas se establecieron en forma sistemática y el muestreo en forma aleatoria (Fig. 2).

### Evaluación de indicadores de estructura y composición del rodal

Se contó con un “baquiano” en campo y se tomaron muestras de cada árbol para su posterior identificación hasta género o especie; algunos árboles no pudieron ser identificados, por lo que se utilizó

**Cuadro 2.** Historial de aprovechamiento de los bosques bajo estudio

BPJ	Tala rasa hace aproximadamente 20-30 años. No existen datos precisos porque la finca pertenecía a otro dueño.	Bosque secundario intervenido hace 13-15 años por medio de entresaque selectivo de árboles a partir de un dap de 30 cm en adelante para extraer coníferas mal conformadas, bifurcadas y enfermas; se dejaron los árboles bien conformados y sanos para futura cosecha y productores de semilla.
BR	Tala rasa hace aproximadamente 20-30 años. No existen datos precisos porque la finca pertenecía a otro dueño.	Bosque secundario no intervenido desde hace 20-30 años. Localizado en la parte norte de la finca, colindante con la zona núcleo de la RBSM.



**Figura 2.** Diseño de muestreo. Transectos, parcelas y puntos de muestreo. Su ubicación en los bosques varió de acuerdo con el terreno. Esquema sin escala.

su nombre común. Se tomó como referencia para la identificación a Standley y Steyermark (1946); para los encinos se siguió a Marcos (1999). Además, se contó con la colaboración de la Directora del Herbario de la Universidad del Valle de Guatemala, Elfriede de Pöll.

■ **Abundancia de árboles (total y por clases de tamaño) y área basal.-** Para evaluar los indicadores de estructura y composición del rodal se utilizaron las parcelas de 20 m x 50 m. En cada bosque se determinó el número de individuos total y por clases de dap  $\geq 10$  cm. Se midió cada árbol dentro de la parcela con una cinta diamétrica a la altura del pecho; se anotó el número de árbol, el dap de cada eje y el género y/o especie o nombre común. Para fines de análisis de datos, el área basal se calculó a partir de las mediciones del dap.

■ **Apertura del dosel en el sotobosque.-** Se utilizaron parcelas temporales de 10 m x 10 m. Se hicieron mediciones cada 50 m. Se utilizó un densiómetro esférico para estimar la apertura del dosel; para ello se tomaron cuatro mediciones dirigidas hacia los cuatro puntos cardinales y se obtuvo un promedio para

cada parcela, el cual se multiplicó por 1,04 para obtener el porcentaje de apertura del dosel.

■ **Estructura vertical del bosque (cobertura del follaje).-**

Se estimó la cobertura de la vegetación en varios estratos de altura, desde el sotobosque hasta el dosel superior. Se utilizaron las parcelas temporales de 10 m x 10 m y se siguió la metodología propuesta por Thiollay (1992). Para la toma de datos se estimó, en forma subjetiva, el porcentaje de cobertura de la vegetación de cada uno de cinco estratos: a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m, d) 20-30 m y e)  $>30$  m. En cada punto de muestreo y para cada estrato de altura, se asignó un valor de 0 si no existía cobertura de vegetación dentro de la parcela; 1 si la cobertura de la vegetación cubría entre 1-33%; 2 si era de 34-66 %, y 3 si era  $>67\%$ . De esta forma, a mayor valor de la escala, mayor cobertura de la vegetación.

**Evaluación de la comunidad de mariposas**

Se evaluaron las poblaciones de mariposas diurnas de las familias que son bien conocidas taxonómicamente y ecológicamente: Papilionidae,

Pieridae y Nymphalidae. No se tomaron en cuenta las familias Riodinidae y Lycaenidae pues su identificación presenta dificultades considerables (Finegan et ál. 2004). A pesar de que las especies de la familia Hesperidae también pueden ser difíciles de identificar, se consideraron en este estudio debido a su alta representatividad en los bosques. Se tomó como referencia a DeVries (1987), que según Méndez y Coronado (1993) resulta adecuado para Guatemala; además se consideró a Smart (1984), De la Maza (1987) y d'Abrera (1988). Las mariposas capturadas se compararon con los especímenes de la Colección Entomológica de la Universidad del Valle de Guatemala, en donde fueron depositadas. Los especímenes recolectados fueron montados y etiquetados según recomendaciones de DeVries (1987) y Borror y DeLong (1966). Los muestreos se hicieron mediante captura e identificación sin captura; los especímenes que no se lograron identificar o capturar se registraron como "desconocidos" y se les asignó una referencia de morfotipo que permitiera identificarlos en caso de lograr la captura y fueron tomados en cuenta para los análisis estadísticos.

Se recorrió cada transecto de 150 m a paso constante durante una hora con ayuda de un cronómetro, entre 08:00 y 15:00 horas, bajo condiciones ambientales adecuadas (sin lluvia y con alta radiación). Durante el recorrido se registraron y contaron los adultos de cada especie de mariposa presentes a 10 metros de distancia a cada lado del transecto. Se hicieron muestreos totales de seis horas para cada transecto (18 horas de muestreo por bosque). El orden de muestreo para cada bosque y transecto fue determinado al azar, para evitar sesgos provocados por la hora y día de recolección de información. Se recopiló toda la información obtenida por transecto durante las seis horas de evaluación; cada transecto constituyó una réplica por tipo de bosque.

### Enfoques para el monitoreo a partir del uso de la GME

Determinación del nivel de impacto según la Guía

Para cada indicador evaluado se calcularon los promedios y las desviaciones estándar en el BR; esta información se utilizó para establecer los niveles de variación natural (umbrales de cambio) y los promedios e intervalos de confianza para el bosque de coníferas manejado (BPJ). Además, se determinaron los activadores de los umbrales con base en factores propuestos por la GME.

Determinación de los valores de los umbrales a partir de la variación estadística en los sitios de referencia (Enfoque 1 de la GME)

Esta sección pretende explicar cómo se determina si un cambio provocado por el manejo es aceptable o no (tomado de Finegan et ál. 2004). Un umbral de cambio<sup>6</sup> se determina a partir del promedio de cada indicador en el BR y sumando o restando a este valor una, dos o tres desviaciones estándar (DE) calculadas también a partir de datos obtenidos en el BR. De esta manera, se tienen tres umbrales de cambio: bajo (promedio  $\pm$  1DE), moderado (promedio  $\pm$  2DE) y alto (promedio  $\pm$  3DE). Este juego de umbrales constituye el marco de referencia a partir del cual se comparan los datos obtenidos en el bosque manejado. Los umbrales de cambio se fijan hacia arriba o hacia abajo del promedio del BR, dependiendo de si se está midiendo el aumento o disminución del indicador. Por ejemplo, si el indicador es el área basal, los umbrales se fijan hacia abajo del promedio del BR, ya que el impacto inaceptable que quiere medirse viene dado por una disminución del área basal producto del aprovechamiento de árboles; mientras que si el indicador son las especies de

**Cuadro 3.**

Umbrales de cambio definidos para cada indicador en el BPJ. Indicadores con CV debajo de 40% (líneas sombreadas)

BPJ				
Indicador	Activador	CV del BR	Sentido de ubicación de los umbrales	Justificación
Abundancia total de árboles	NA	69	↓	El manejo disminuye la abundancia de árboles y área basal
Abundancia clase diamétrica 10-19	NA	76	↑	El aumento de luz debido a la remoción de árboles grandes contribuye a aumentar la regeneración en árboles pequeños
Abundancia clase diamétrica 20-29	NA	67	↓	El manejo disminuye la abundancia de árboles y área basal
Abundancia clase diamétrica 30-39	NA	92	↓	El manejo disminuye la abundancia de árboles y área basal
Abundancia clase diamétrica 40-49	NA	68	↓	El manejo disminuye la abundancia de árboles y área basal
Abundancia clase diamétrica 50-59	NA	69	↓	El manejo disminuye la abundancia de árboles y área basal
Abundancia clase diamétrica >60	NA	91	↓	El manejo disminuye la abundancia de árboles y área basal
Área basal total	UCM	31	↓	El manejo disminuye la abundancia de árboles y área basal
Apertura del dosel	UCB	38	↑	El manejo aumenta la apertura del dosel, debido a la remoción de árboles grandes
% Cobertura del follaje 0-2 m	UCB	28	↑	El manejo aumenta la regeneración en el sotobosque
% Cobertura del follaje 2-9 m	UCB	38	↑	El manejo aumenta la regeneración en el sotobosque
% Cobertura del follaje 10-20 m	UCB	38	↓	Remoción de árboles grandes y daño indirecto a árboles remanentes
% Cobertura del follaje 20-30 m	NA	62	↓	Remoción de árboles grandes y daño indirecto a árboles remanentes
% Cobertura del follaje >30 m	NA	71	↓	Remoción de árboles grandes y daño indirecto a árboles remanentes
Mariposas sitios perturbados	UCB	22	↑	El manejo puede aumentar el número de individuos de las especies de estos gremios
Mariposas sitios no perturbados	NA	83	↓	El manejo disminuiría el número de individuos de las especies de este gremio
Mariposas generalistas	NA	71	↑	El manejo puede aumentar el número de individuos de las especies de estos gremios

**UCB:** Umbral de cambio bajo. **UCM:** Umbral de cambio moderado. **NA:** No aplica, no es posible determinar umbrales.

↓: Hacia abajo del valor de referencia. ↑: Hacia arriba del valor de referencia.

<sup>6</sup> Valor de una variable de monitoreo que indica que un cierto cambio ha ocurrido (Finegan et ál. 2004)

mariposas de un gremio indicador de perturbación, los umbrales deben fijarse hacia arriba del promedio del BR, porque producto del manejo se crean condiciones que hacen que este gremio se incremente.

Luego de calculados los umbrales de cambio para un indicador se establece el activador<sup>7</sup>. Los activadores de los umbrales para cada indicador se establecen con base en los criterios descritos en la sección 6 de la GME. Para este estudio se decidió analizar sólo aquellos indicadores que mostraron poca variabilidad en el sitio de referencia (CV<40%), debido a que la alta variabilidad produce que los umbrales de cambio se vuelvan demasiado amplios, o con valores negativos en el caso de los umbrales fijados hacia abajo del promedio del BR. Estos umbrales amplios permitirían un cambio drástico en el aumento o disminución de los valores de los indicadores del bosque manejado. Aplicando los criterios de la GME, que toma en cuenta el tiempo transcurrido desde el manejo y la posible recuperación del bosque (especialmente por tratarse de un BAVC), se decidió utilizar un criterio riguroso para el BPJ y fijar umbrales de cambio bajo (UCB) como activadores para el mismo. El umbral de cambio moderado (UCM) se fijó únicamente para el indicador de área basal, tomando en cuenta la reducción permitida para el área (30 a 35%), ya que el objetivo del bosque manejado es la producción de madera.

Para analizar la comunidad de mariposas, se agruparon las especies en gremios indicadores de perturbación (sotobosque abierto, dosel y claros del bosque; borde, claros grandes y áreas perturbadas); por separado se evaluaron el gremio indicador de no perturbación (sotobosque sombreado) y el gremio de generalistas. La agrupación de las especies en

gremios se hizo de acuerdo con las características de uso del hábitat por parte de los adultos observados (DeVries 1987), información proporcionada por Finegan<sup>8</sup> y observaciones de campo. El análisis a nivel de gremio ofrece información útil para el monitoreo de los impactos de manejo, con excepción de alguna especie de particular interés.

## Resultados y discusión

### Establecimiento de umbrales y activadores

En el Cuadro 3 se muestran todos los indicadores medidos, los indicadores a los cuales se pudo aplicar los enfoques de la Guía y la justificación del sentido de colocación de los umbrales con respecto al valor promedio en el BR (hacia arriba, o hacia abajo). La mayoría de indicadores obtuvieron coeficientes de variación bastante altos, por lo que no pudieron ser sometidos a los enfoques propuestos por la GME. Para efectos de este estudio, de 17 indicadores sólo seis pudieron ser evaluados: el área basal total, la apertura del dosel, el porcentaje de cobertura del follaje (0-2

m, 2-9 m y 10-20 m) y los gremios de mariposas indicadores de perturbación (CV<40%).

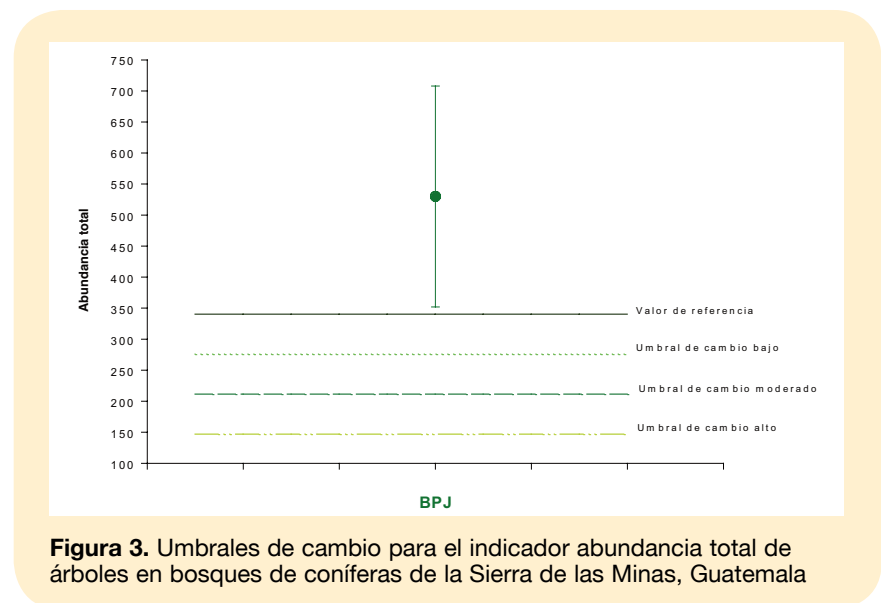
### Indicadores de estructura del rodal

#### Abundancia de árboles

En la Fig. 3 se observa que para el BPJ, el intervalo de confianza (IC) no sobrepasó el valor de referencia (promedio de la abundancia del BR). Esto podría deberse al manejo llevado a cabo en el BPJ, el cual pudo favorecer la regeneración cuando los árboles pequeños reemplazan a los grandes (Denslow 1995, Lähde et ál. 2002). Asimismo, los árboles medianos pudieron verse favorecidos por el raleo aplicado (Johns 1988). A pesar de que se pueden observar los umbrales en la gráfica, debido a un alto CV para este indicador, no es posible utilizarlo en la práctica.

#### Área basal

Partiendo del hecho de que las extracciones en el área permiten la reducción del 30% al 35% del volumen total por hectárea<sup>9</sup>, y que es inevitable y hasta necesario que el



**Figura 3.** Umbrales de cambio para el indicador abundancia total de árboles en bosques de coníferas de la Sierra de las Minas, Guatemala

<sup>7</sup> Valor de uno de los umbrales de cambio que al ser alcanzado por el valor promedio en el bosque manejado, más el intervalo de confianza al 95%, indica que ha ocurrido un impacto inaceptable y, por lo tanto, es necesario introducir modificaciones en el manejo como respuesta al cambio provocado por la intervención (Finegan et ál. 2004)

<sup>8</sup> Bryan Finegan. Junio, 2005. Líder del Grupo Temático Bosques, Áreas Protegidas y Biodiversidad, CATIE. Com. pers.

<sup>9</sup> Ing. Lizardo López. Febrero, 2005. Asistente de Gerencia Forestal Maderas El Alto. Com. pers.

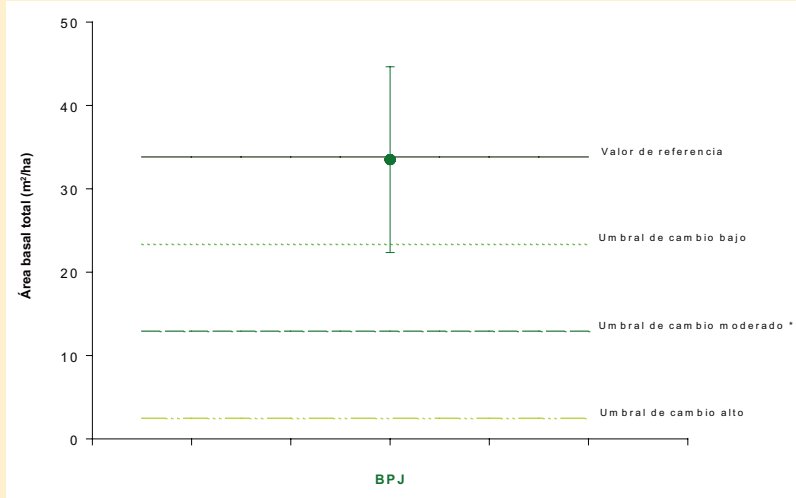
bosque cambie en alguna medida a causa del manejo (Finegan et ál. 2004), se utilizó un activador fijado en umbral de cambio moderado para este indicador. De acuerdo con la Fig. 4, el IC no alcanzó el activador, por lo que se puede afirmar, con base en este indicador, que el manejo forestal del BPJ es aceptable.

#### Apertura del dosel en el sotobosque

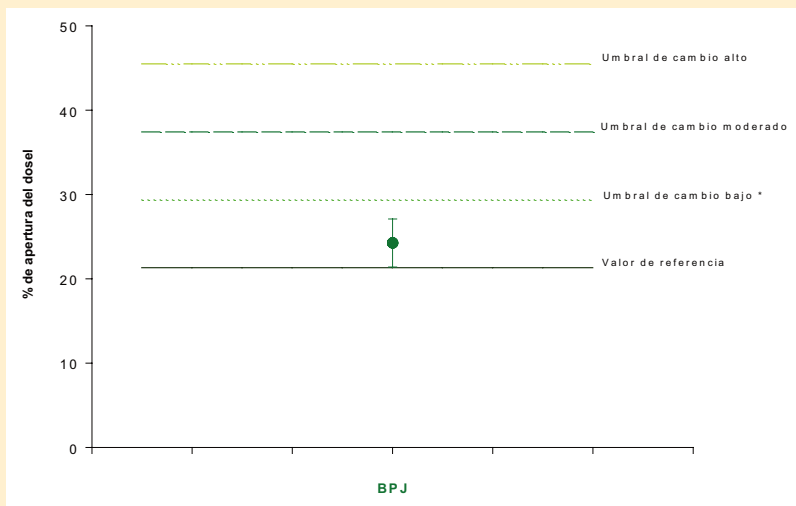
Los umbrales de cambio para el porcentaje de apertura del dosel se determinaron hacia arriba del promedio en el área de referencia (Finegan et ál. 2004), debido a que se espera un aumento de la apertura del dosel después de llevarse a cabo el manejo, por la remoción de árboles grandes (Denslow 1995, Lähde et ál. 2002). Es decir que se está midiendo el aumento de la apertura del dosel provocado por el manejo, con respecto al BR. El promedio del indicador y el IC no alcanzaron el activador (Fig. 5). Por tal razón, se considera que el manejo tiene un impacto aceptable sobre este indicador estructural en el BPJ.

#### Estructura vertical del bosque

Los umbrales de cambio para los estratos de 0-2 m y de 2-9 m se determinaron hacia arriba del promedio en el área de referencia. Se realizó de esta manera debido a que la caída de los árboles durante el manejo provoca la apertura del dosel, lo que a su vez produce cambios en las condiciones físicas y ambientales del sitio; por ejemplo, la cantidad de luz que llega al suelo estimula la regeneración de especies y, en consecuencia, un sotobosque más denso (Johns 1988, Thiollay 1992, Hannah 1999, Crow et ál. 2002). Asimismo, al aumento de luz y la regeneración pueden dar como resultado la creación o eliminación de hábitats, lo cual afecta a algunas especies y favorece a otras (Smith et ál. 1997). Los únicos indicadores de cobertura del follaje con un CV menor al 40% son los estratos 0-2 m, 2-9 m y 10-20 m.



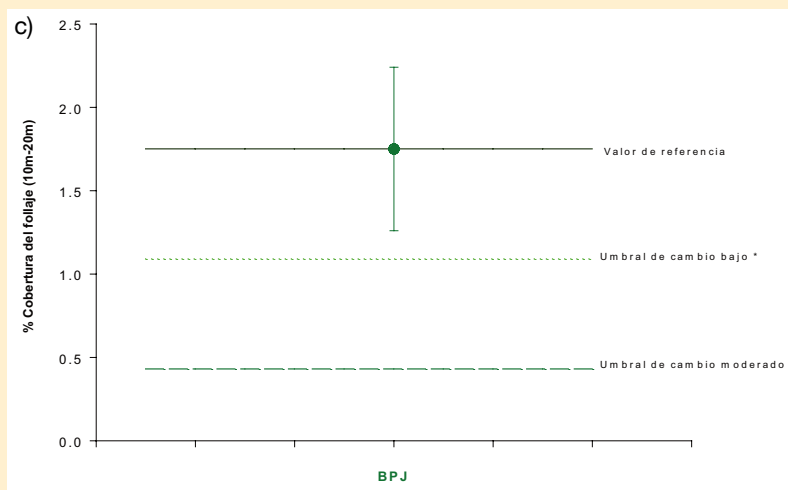
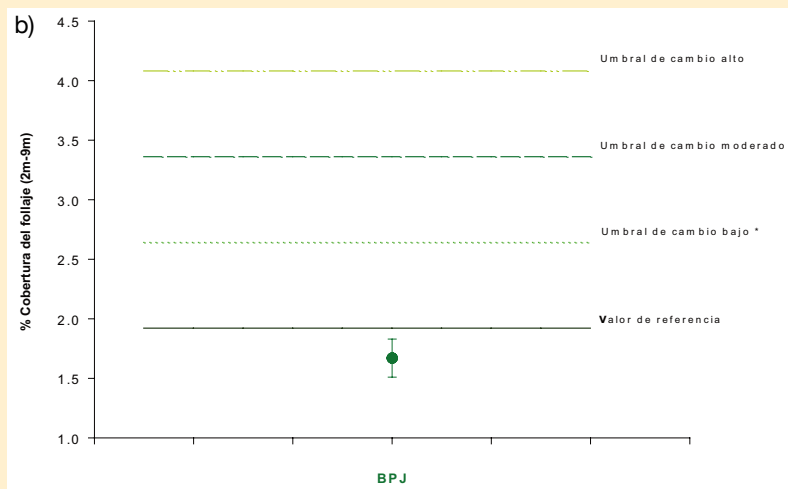
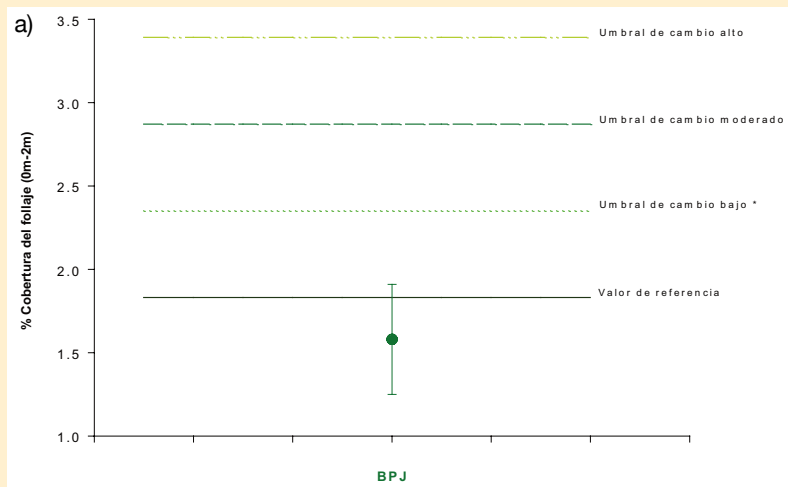
**Figura 4.** Umbrales de cambio para el indicador de área basal total para bosques manejados de coníferas de la Sierra de las Minas, Guatemala. \*Umbral de cambio seleccionado como activador



**Figura 5.** Umbrales de cambio para el indicador de apertura del dosel, para bosques manejados de coníferas de la Sierra de las Minas, Guatemala. \*Umbral de cambio seleccionado como activador.

En la Fig. 6a se observan los cambios de umbral para el indicador de porcentaje de cobertura del follaje en el estrato más bajo (estrato 0-2 m). La apertura del dosel, y por ende la regeneración en el sotobosque, son cambios que normalmente suceden luego de realizarse el manejo (Denslow 1995, Lähde et ál. 2002). El promedio y el IC no alcanzaron el activador en ambos

estratos (0-2 m y 2-9 m) (Fig. 6a y b). Ambos indicadores revelan un manejo dentro de los límites aceptables. Por el contrario, para los estratos de altura >10 m, los umbrales se establecieron hacia abajo del promedio en el área de referencia, debido a que con la técnica de entresaque selectivo se remueve un cierto número de árboles maduros para madera (Johns 1988, Thiollay



**Figura 6.** Umbrales de cambio para el indicador de estructura vertical en bosques manejados de coníferas de la Sierra de las Minas, Guatemala. \*Umbral de cambio seleccionado como activador. a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m.

1992). En la Fig. 6c se puede ver el promedio e IC del porcentaje de cobertura del follaje para el estrato 10-20 m del BPJ, el cual no alcanza el activador. Para los estratos 20-30 m y >30 no es posible aplicar el protocolo de la GME debido a su alta variabilidad.

### Grupo de especies indicadoras de perturbación

Los gremios indicadores de perturbación son los únicos que cuentan con un coeficiente de variación lo suficientemente bajo para ser evaluados por el protocolo de la GME. Los mismos se evaluaron fijando los umbrales hacia arriba del valor de referencia, basándose en el supuesto de que el número de individuos de estas especies aumentaría debido a cambios producidos por el manejo. Los promedios e IC de los gremios de perturbación están muy por debajo del valor de referencia; en el BR se observa una presencia mucho más marcada de especies indicadoras de perturbación que en el bosque manejado (Fig. 7), aunque no se tiene una explicación para este hecho. No se presentan evidencias de un manejo inaceptable.

### Conclusiones y recomendaciones

Los umbrales de cambio de la mayoría de los indicadores fueron bastante amplios. De 17 indicadores evaluados, sólo fue posible analizar seis por lo que sólo se utilizaron los indicadores con baja variabilidad, mientras que para otros no se pudo aplicar el protocolo de la GME. Los indicadores de área basal, cobertura del follaje (0-2 m, 2-9 m y 10-29 m) y los gremios de mariposas indicadoras de perturbación fueron los únicos sometidos al protocolo de la Guía. Todos ellos revelaron que el nivel de impacto causado por el manejo se encuentra dentro de niveles aceptables para este bosque, desde un punto de vista ecológico.



Foto: Lorena Ninel Estrada.



La caída de árboles durante el manejo provoca la apertura del dosel, lo que a su vez produce cambios en las condiciones físicas y ambientales del sitio



Foto: Lorena Ninel Estrada.

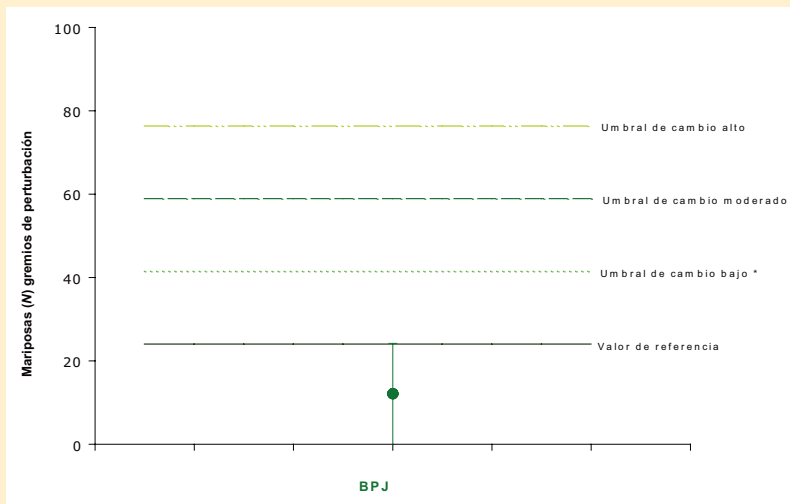
La cantidad de luz que llega al suelo estimula la regeneración de especies y, en consecuencia, un sotobosque más denso

Los gremios de sotobosque sombreado y generalistas presentaron una alta variabilidad, por lo que no fueron evaluados. Los gremios indicadores de perturbación revelan un manejo aceptable, con promedios e IC muy por debajo del valor de referencia presentado en el BR.

En cuanto a las mariposas como indicadores ecológicos, es recomendable realizar dos o más muestreos durante el año con el fin de evaluar la mayor cantidad de especies de mariposas posible y lograr deducciones más precisas sobre la calidad del hábitat en el área de estudio.

Los protocolos de la Guía de Monitoreo requieren de un esfuerzo de muestreo bastante alto, por lo que no es tan fácil aplicar esta metodología; sobre todo en bosques relativamente pequeños en donde no es posible establecer un número suficiente de transectos y/o parcelas. Sin embargo, los datos obtenidos para un bosque bajo manejo pueden ser tomados en cuenta para otros bosques manejados, siempre y cuando compartan características naturales y de prácticas de manejo.

En este estudio, algunos de los indicadores evaluados requieren un esfuerzo mayor de muestreo para bajar la variabilidad del coeficiente de variación, el cual puede llevarse a cabo para algunos de los estratos de cobertura del follaje; sin embargo, el muestreo no puede aumentarse para los indicadores de abundancia de árboles y área basal debido a que el tamaño de los bosques bajo estudio no permitió establecer más parcelas.



**Figura 7.** Umbrales de cambio para gremios de mariposas indicadores de perturbación en bosques manejados de coníferas de la Sierra de las Minas, Guatemala. \*Umbral de cambio seleccionado como activador.

## Literatura citada

- Aguilar-Amuchástegui, N. 1999. Criterios e indicadores de sostenibilidad ecológica: caracterización de la respuesta de dos grupos de insectos propuestos como verificados. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- Arreaga, O. 2002a. Plan de manejo forestal Finca La Constancia. Usumatlán, GT, Maderas El Alto, S.A. 11p.
- \_\_\_\_\_. 2002b. Plan de manejo forestal Finca El Jabalí. Usumatlán, GT, Maderas El Alto, S.A. 9 p.
- Bennett, E. 2000. Timber certification: Where is the voice of the biologist? *Conservation Biology* 14:921-923.
- Borror, DJ; De Long, DM. 1966. An introduction to the study of insects. New York, US, Holt, Rinehart and Winston, Inc. 819 p.
- Carrillo, P. 2007. Comparative study of broadleaf forest in the Río Bravo Conservation and Management Area, Belize with an emphasis on the impacts of forest management. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 85 p.
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas). 1999. Política nacional y estrategia para el desarrollo del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas. Guatemala.
- Crow, TR; Buckley, D; Nauertz, E; Zasada, J. 2002. Effects of management on the composition and structure of Northern hardwood forests in Upper Michigan. *Forest Science* 48(1):129-145.
- D'Abrebra, B. 1984. Butterflies of South America. Australia, Hill House. 256 p.
- De la Maza, R. 1987. Mariposas mexicanas. México, D.F., MX, Fondo de Cultura Económica. 302 p.
- Denslow, JS. 1995. Disturbance and diversity in tropical rain forests: The density effect. *Ecological Applications* 5(4):962-968.
- DeVries, PJ. 1987. The butterflies of Costa Rica and their natural history: Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae. New Jersey, US, Princeton University Press. 327 p.
- Estrada, LN. 2005. Efecto del manejo forestal sobre la estructura y composición del rodal y sobre la comunidad de mariposas, en bosques de coníferas de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas. *In* Estudio comparativo de bosques secundarios de coníferas de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala con énfasis en impactos de manejo forestal. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 111 p.
- Farjon, A; Page, C. 1999. Conifers. Gland, CH y Cambridge, UK, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). 121 p.
- FDN (Fundación Defensores de la Naturaleza). 2003. Tercer Plan Maestro para la Biosfera Sierra de las Minas. Versión electrónica. Guatemala, GT. 81 p.
- Finegan, B; Hayes, J; Delgado, D; Gretzinger, S. 2004. Monitoreo ecológico del manejo forestal en el trópico húmedo: una guía para operadores forestales y certificadores con énfasis en Bosques de Alto Valor para la Conservación. San José, CR, FCENTROAMERICA/PROARCA/CATIE/OSU. 116 p.
- Hannah, PR. 1999. Species composition and dynamics in two hardwood stands in Vermont: a disturbance history. *Forest Ecology and Management* 120(1-3):105-116.
- Holdridge, LR. 1983. Mapa de zonas de vida a nivel de reconocimiento. Guatemala, GT, Instituto Nacional Forestal.
- Jennings, S; Nussbaum, R; Synntt, T; Azevedo, T; Brown, N; Colchester, M; Iacobelli, T; Jarvie, J; Lindhe, A; Vallejos C; Yaroshenko, A; Chunquan, Z. 2002. A toolkit for identifying and managing high conservation value forests. Review Draft 1. Unpublished document by ProForest, Oxford, United Kingdom.
- Johns, A. 1988. Effects of "selective" timber extraction of rain forest structure and composition and some consequences for frugivores and folivores. *Biotropica* 20(1):31-37.
- Jolón, MR. 1999. Establecimiento de la línea base de información de biodiversidad del bosque manejado en San Miguel La Palotada, Petén, Guatemala, y su aplicación en el monitoreo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 100 p.
- Lähde, E; Eskelinen, T; Väänänen, A. 2002. Growth and diversity effects of silvicultural alternatives on an old-growth forest in Finland. *Forestry* 75(4):395-400.
- Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 265 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 46).
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2001. Programa de Emergencia por Desastres Naturales. Ciudad de Guatemala, GT, Unidad de Políticas e Información Estratégica.
- Marcos, C. 1999. Censo de especies del género *Quercus* y su distribución geográfica en dos cuencas de la RBSM. Tesis Ing. Forestal. Guatemala, GT, Universidad del Valle. 99 p.
- Méndez, C; Coronado, E. 1993. Evaluación ecológica rápida de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas. Ciudad de Guatemala, GT, CECON. 57 p.
- Morales, E; Cartín, F. (Eds.). 1997. Tercer Congreso Forestal Centroamericano [27-29 de agosto, 1997, San José, Costa Rica]. San José, CR, Impresos Belén, S.A. 297 p.
- Ordóñez, Y. 2003. Validación de indicadores ecológicos para la evaluación de sostenibilidad en bosques bajo manejo forestal en el trópico húmedo, con énfasis en Bosques de Alto Valor para la Conservación. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- Robles, G; Oliveira, K; Villalobos, R. 2000. Evaluación de los productos forestales no madereros en América Central. *In* Evaluación de los recursos forestales mundiales. Roma, IT, FAO, Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Consultado el 24-09-2005. [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/007/ae159s/AE159S06.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/007/ae159s/AE159S06.htm)
- Smart, P. 1984. The illustrated encyclopedia of the butterfly world in color. Over 2000 species reproduced life size. Secaucus, US, Chartwell Books Inc. 274 p.
- Smith, DM; Larson, BC; Kelty, MJ; Ashton, PMS. 1997. The practice of silviculture: applied forest ecology. Ciudad?, US, John Wiley. 537 p.
- Standley, P; Steyermark, J. 1946. Flora de Guatemala. Tomos I-XII. Chicago Natural History Museum.
- Thiollay, J. 1992. Influence of selective logging on bird species diversity in Guianan rain forest. *Conservation Biology* 6(1):47-63.

# Evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas de América Central. Parte 1. Propuesta metodológica<sup>1</sup>

**Laura Benegas<sup>2</sup>; Francisco Jiménez<sup>3</sup>;  
Bruno Locatelli<sup>4</sup>; Jorge Faustino<sup>5</sup>;  
Max Campos<sup>6</sup>**

El estándar construido para evaluar la adaptación de los productores agropecuarios a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, contó con cinco principios generales que van desde lo general, considerando políticas regionales y nacionales e institucionalidad, hasta lo particular a nivel de la cuenca, tocando aspectos como estrategias y tecnologías agrosilvopecuarias, otras alternativas socioeconómicas y la estrategia de comunicación y sensibilización.



Fotos: Laura Benegas.

<sup>1</sup> Basado en Benegas Negri, LA. 2006. Propuesta metodológica para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 160 p.

<sup>2</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. lbenegas@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

<sup>4</sup> CIRAD UPR Ressources Forestières, Montpellier 34398 Francia; CATIE; Grupo Cambio Global, Turrialba, Costa Rica. blocatell@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. faustino@catie.ac.cr

<sup>6</sup> ccrh@racsa.co.cr

## Resumen

Se elaboró un estándar para evaluar la adaptación de los productores agropecuarios a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central, con el aporte de expertos y profesionales de la región. Las fases del proceso fueron: recopilación exhaustiva de información; desarrollo de un estándar preliminar; entrevistas con expertos, principalmente de la región centroamericana, para evaluar los principios y criterios preliminares; elaboración del estándar de evaluación con aportes y evaluación preliminar de expertos; prueba y análisis de aplicabilidad del estándar bajo condiciones reales; y aplicación del estándar mediante un estudio de caso en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua, la cual sufre de sequías frecuentes y variabilidad climática. El estándar quedó conformado por 5 principios generales, 10 criterios, 26 indicadores y 51 verificadores. Los principios consideran desde políticas regionales y nacionales e institucionalidad hasta condiciones particulares a nivel de la cuenca. En el proceso de prueba del estándar en la subcuenca del río Aguas Calientes, la calificación de aplicabilidad general del mismo fue media (calificación tres, en una escala de uno a cinco), aunque para los principios generales del estándar la calificación fue de cuatro (alta). La metodología para la elaboración del estándar puede ser utilizada en otros campos temáticos afines y aplicarse en otras unidades de gestión territorial diferentes a la cuenca hidrográfica.

**Palabras claves:** Cuencas hidrográficas; productores; cambio climático; sequía; normalización; río Aguas Calientes; América Central; Nicaragua.

## Summary

### **Evaluation of the the farmer's adaptation to the climate variability, specifically drought in Central America's watershed. Part 1. Methodologic proposal.**

A standard was elaborated to evaluate farmer's adaptation to climate variability, mainly to drought in watersheds in Central America. The process covered six phases: recompilation of information, development of a preliminary standard, interviews with experts to evaluate the preliminary standard, design of the evaluation's standard with expert inputs, assessment of the standard usefulness under real conditions, and standard valuation in the Aguas Calientes sub-watershed, Nicaragua. This sub-watershed was selected because of periodical droughts and climate variability. The standard consists of five general principles, ten criteria, 26 indicators and 51 verifiers. The principles include regional and national policies and institutionalism, and particular watershed conditions. The standard's testing process in the Aguas Calientes sub-watershed determined an average degree of applicability for the standard (3 in a scale from 1 to 5). Nonetheless, the general principles were considered of high applicability (4). This methodology can be used in other fields and other territorial management units.

**Keywords:** Watershed; farmers; climate change; drought; normalization; Aguas Calientes river; Central America; Nicaragua.

## Introducción

**E**n América Central se han definido ocho regiones ecológicas en las zonas climáticas subhúmeda, seca y semiárida, las cuales abarcan aproximadamente el 45% de la superficie total de la región. Tales regiones han sufrido una severa degradación y están amenazadas por la desertificación (UNCCD 2004). Por otra parte, en la costa Pacífica de América Central existe un “corredor de sequía” en el que viven 8,6 millones de personas en las áreas rurales. El Programa Mundial de Alimentos lo define como un área seca continua con una estación seca de seis meses o más, expuesta a desastres naturales y escasez periódica de alimentos (WFP 2002).

El cambio climático y la variabilidad climática están modificando el curso de las estrategias de desarrollo; ahora, las agencias gubernamentales y de desarrollo centran su planificación en la adaptación al cambio (Neil et ál. 2005). El énfasis se pone en las medidas de adaptación anticipadas y efectivas a corto plazo que deben implementarse en el futuro cercano (Löe et ál. 2001). A nivel global existen lineamientos para las medidas de adaptación de escala regional o nacional. Algunos estudios intentan responder, por ejemplo, ¿cuánto éxito tiene la adaptación convencional o autónoma en los sistemas prioritarios a escala nacional? Se espera que como resultado, esa tarea genere una línea base de adaptación que permita describir las experiencias comunes y recientes de adaptación, incluyendo medidas políticas existentes en los países y valoración de la capacidad adaptativa general. La línea base de adaptación puede utilizarse para desarrollar la capacidad de adaptación futura (UNDP 2003).

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático es necesario comprender mejor los factores que determinan la capacidad de adaptación y utilizar esta información para entender

las diferencias de adaptación entre regiones, naciones y grupos socioeconómicos (IPCC 2001). Asimismo, se debe entender la forma en que esa capacidad puede cambiar a lo largo del tiempo.

Además de los lineamientos sobre cómo evaluar la capacidad de adaptación a la variabilidad climática a escala global o regional, existen metodologías para evaluar la capacidad de adaptación de los sistemas. Dichas metodologías, sin embargo, no delimitan principios, criterios e indicadores ni posibles verificadores; tampoco se ha definido una escala de evaluación local o a nivel de unidad territorial que permita tomar medidas factibles y obtener resultados visibles, por ejemplo, a nivel de la cuenca hidrográfica y su escala espacial.

Las cuencas hidrográficas constituyen las unidades de intervención lógicas para revertir procesos de degradación de los recursos naturales y para impulsar estrategias de adaptación a la variabilidad climática y a situaciones adversas. La importancia de este estudio radica en la formulación de una propuesta metodológica para evaluar el nivel de adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, a nivel de cuencas hidrográficas en América Central. Se considera que evaluar el estado de adaptación de una unidad territorial conducirá a una conclusión acerca de la suficiencia o no de las medidas de adaptación encontradas en las cuencas y, a partir de esa información, impulsar y establecer adecuadamente las estrategias de intervención y asistencia técnica de las diferentes instituciones y organizaciones que trabajan con este tipo de limitaciones en las cuencas hidrográficas.

## Metodología

La propuesta metodológica para la evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en

cuencas hidrográficas en América Central se desarrolló en seis etapas: a) recopilación exhaustiva de información sobre el tema; b) desarrollo de un estándar preliminar; c) entrevistas con expertos, principalmente de la región centroamericana, para evaluar los principios y criterios preliminares; d) elaboración del estándar de evaluación con aportes y evaluación preliminar de expertos; e) prueba y análisis de aplicabilidad del estándar bajo condiciones reales; f) aplicación del estándar mediante un estudio de caso en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. Este artículo analiza la propuesta metodológica; un segundo artículo en este mismo número de la RRNA (pág. 117) ofrece los resultados de aplicación del estándar.

A continuación se presenta una descripción de los procedimientos utilizados (Cuadro 1). La primera tarea consistió en recavar información mediante revisión documental exhaustiva sobre desarrollo y aplicación de estándares en diferentes campos de la agricultura, los recursos naturales y el ambiente, así como consultas específicas con especialistas en el tema de adaptación al cambio climático. Con base en esa información se desarrolló un estándar preliminar, el cual se sometió a consulta de 80 expertos de la región, así como algunos de Canadá y Estados Unidos. El objetivo era conocer su opinión sobre la importancia y necesidad de tener una metodología para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, y su recomendación sobre los principios y criterios que consideraban fundamentales.

De los 80 expertos inicialmente entrevistados, el 79% entregaron la evaluación del conjunto preliminar de principios y criterios. Para un mejor análisis de esta información, los expertos se clasificaron por tipo de institución en la que trabajan: instituciones de visión regional o global (54%, 34 personas) e instituciones de

**Cuadro 1.**

Objetivos, actividades, información recolectada y método de análisis empleados

Objetivo específico	Actividad	Información recolectada	Método de análisis
Establecer principios, criterios e indicadores que permitan evaluar el grado de adaptación a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas de América Central.	Revisión de literatura	Ideas generales acerca de principios o criterios a considerar en la metodología planteada	Frecuencias absolutas para las ideas generales mencionadas
	Elaboración de principios y criterios preliminares con base en la revisión de literatura		
	Consultas con expertos de reconocida trayectoria en el tema de adaptación a la variabilidad climática y sequía en Centroamérica, Estados Unidos y Canadá	Principios y criterios preliminares evaluados	Estadísticas descriptivas (promedios y desviaciones estándar) de los elementos calificados por los expertos
	Hoja con principios y criterios preliminares sometidos a evaluación de los expertos consultados. Esquema de calificaciones en el Cuadro 2.	Sugerencias y críticas a la metodología	
Probar la aplicabilidad de la propuesta metodológica con técnicos que trabajan en una subcuenca que sufre de variabilidad climática y problemas de sequía (Aguas Calientes, Nicaragua).	Taller para dar a conocer y probar la aplicabilidad en términos de comprensión, especificidad, facilidad para obtener la información requerida, etc. de la propuesta metodológica.	Aplicabilidad en condiciones reales de la propuesta metodológica, según criterio de técnicos que trabajan en la subcuenca del río Aguas Calientes.	Análisis multicriterio del estándar (propuesta metodológica)

visión local (46%, 29 personas). Los elementos considerados para la evaluación se presentan en el Cuadro 2. Además con toda la información recopilada se completó la estructura del estándar con indicadores y verificadores, de acuerdo con los atributos propuestos por Prabhu et ál (1999).

Como filtro final, antes de la prueba de aplicabilidad de la propuesta metodológica, se presentó cada uno de los elementos del “estándar” previamente analizado según atributos de Prabhu et ál. (1999), a cuatro expertos en el tema. En esta jornada de trabajo se mencionaron las sugerencias concretas y comentarios surgidos de la consulta con otros 63 expertos, para finalmente integrar todos estos elementos y obtener el estándar final.

Para la prueba de aplicabilidad de la metodología se realizó un análisis multicriterio con base en la evaluación realizada por 22 técnicos que trabajan en la subcuenca bimunicipal del río Aguas Calientes, Nicaragua, la cual presenta sequías frecuentes y alta variabilidad climática (Benegas et ál., pág. 117 en este

mismo número). El análisis multicriterio del estándar se basó en el procedimiento propuesto por Mendoza y Macoun (1999), con adaptaciones propias (escalas de transformación de valores de posición y valoración o relevancia) de acuerdo al estándar elaborado.

Se asignó una posición (*ranking*) para cada elemento del estándar comparable (principios, criterios, indicadores y verificadores), de acuerdo con la importancia que estos elementos tenían para la condición particular de la subcuenca del río Aguas Calientes y su entorno. En la

asignación de la posición, la valoración fue de 1 a 5 (1 = elemento más importante y 5 = elemento menos importante). Del mismo modo, se asignó un peso basado en una escala fija de relevancia (Cuadro 3). Esta calificación se asignó a todos los elementos. Para esto, cada evaluador recibió un instructivo y llenó un formulario con el estándar completo.

Una vez completado el proceso de evaluación se contabilizaron los aportes de los evaluadores, tanto para las posiciones como para los pesos asignados. Para ello, se realizó una conversión de escalas basada

**Cuadro 2.**

Esquema de calificación de principios y criterios preliminares para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central

Código	Aspecto a evaluar	Valor asignado
RA	Relevancia para el tema. Caracteriza bien la adaptación	0 - 5
FI	Fácil y directa interpretación del enunciado. Sin ambigüedad	0 - 5
DB	Facilidad para disponer de los datos en forma periódica. Bajo costo	0 - 5
NR	No se repite con otro P o C	0 - 5

**Cuadro 3.**  
Escala de calificación de pesos según relevancia para cada elemento del estándar

Orden	Significado
0	No aplica para la cuenca (el aspecto no se da, no es la aptitud de la cuenca)
1	Muy baja relevancia para la condición de la cuenca
2	Baja relevancia, no es muy necesario para el manejo de la cuenca
3	Moderada relevancia, está adquiriendo mayor atención en la cuenca
4	Alta relevancia, siempre ha sido una condición necesaria a atender en la cuenca
5	Extremada relevancia, es vital considerar este aspecto en las condiciones de la cuenca

en el número de elementos comparables, el cual varió según las categorías. Aquellos elementos que aparecían solos en una categoría -por ejemplo, un solo indicador dentro de un criterio- no se les asignó ninguna posición, pero sí un peso. A continuación se presenta un ejemplo de la conversión de escalas para la obtención del puntaje final de cada elemento componente del estándar, obtenido a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Valor}_{(i)} = \frac{1}{2}(\text{posMax} - \text{pos}_i + \text{peso}_i)$$

Donde:

$\text{pos}_i$  = posición del elemento  $i$

$\text{posMax}$  = posición máxima de los elementos hermanos (comparables)

$\text{peso}_i$  = peso del elemento  $i$

*Ejemplo:* En el principio 2 hay tres elementos comparables (2.1, 2.2 y 2.3); el puntaje final de uno de los criterios fue de peso = 5 y posición = 2. Entonces, la fórmula aplicada fue la siguiente:

$$\text{Valor}_{(i)} = \frac{1}{2}(3-2+5) = 3.$$

El valor de aceptación individual de cada elemento del estándar ( $\text{Valor}_{(i)}$ ) se utilizó para realizar la evaluación del nivel de aceptación del estándar ponderado, de acuerdo con la calificación del “desempeño” de la subcuenca para este estándar. En este proceso de calificación se utilizó la metodología propuesta por Musálem (2005), la cual considera en primer lugar un valor de aceptación

(a) del indicador, que representa el punto de vista y la importancia que le asigna el evaluador, minimizando su calificación cuando lo considere poco importante o maximizando su calificación cuando lo crea muy importante.

En segundo lugar se consideró la calificación ( $c$ ) en sí, la cual corresponde a la interpretación que tiene el evaluador sobre las condiciones y situación particular de la subcuenca. Estos valores son asignados con base en una escala guía. La aceptación ( $a$ ) y la calificación ( $c$ ) son multiplicados y ponderados a través de una fórmula simple de promedio ponderado:

$$CE_j = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot x e_{ij}}{\sum_{i=1}^n e_{ij}}$$

Donde:

$CE_j$  = calificación otorgada para la cuenca por evaluador  $j$

$A_{i,j}$  = aceptación otorgada al indicador  $i$  por el evaluador  $j$  (calculada según fórmula:  $\text{Valor}_{(i)}$ )

$e_{i,j}$  = calificación otorgada al indicador  $i$  por el evaluador  $j$

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

$$CG = \frac{\sum_{j=1}^m CE_j}{m}$$

Donde:

$CG$  = calificación global de la cuenca  
 $CE_j$  = calificación otorgada para la cuenca por el evaluador  $j$   
 $m$  = cantidad de evaluadores.

Finalmente, el valor  $CG$  puede ser fácilmente transformado en un valor porcentual ( $CG\%$ ) si se conoce la calificación máxima obtenible para la cuenca; es decir, sustituyendo en las fórmulas  $CE$  y  $CG$  los valores ( $e$ ) por los valores máximos ( $e_{\text{max}}$  y  $CE_{\text{max}}$ ) de la siguiente manera:

$$CE_j \text{ max} = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot x e_{ij} \text{ max}}{\sum_{i=1}^n e_{ij} \text{ max}} \text{ y}$$

$$CG \text{ max} = \frac{\sum_{j=1}^m CE_j \text{ max}}{m}$$

Donde:

$CE_j \text{ max}$  = calificación máxima posible asignable por evaluador

$E_{i,j} \text{ max}$  = valor máximo posible por elemento  $i$  del estándar (principio, criterio, indicador y verificador) por el evaluador  $j$

$CG \text{ max}$  = calificación global máxima obtenible para la cuenca

Se consideró el valor máximo posible ( $e_{i,j} \text{ max}$ ) para cada elemento del estándar al mayor valor otorgado en suma para un elemento, el cual sirvió como máximo ajustado al criterio promedio de los evaluadores.

Sustituyendo, se obtiene la siguiente fórmula:

$$CG\% = \frac{CG}{CG \text{ max}} \times 100$$

Donde:

$CG\%$  = calificación global para la cuenca en porcentaje

$CG$  = calificación global obtenida para la cuenca

$CG \text{ max}$  = valor máximo global obtenible para la cuenca

El valor de aceptación en porcentaje fue reconvertido con el fin de obtener el nivel de aceptación

convertido a una escala de 1 al 5 (que va desde muy baja a muy alta aceptación).

## Resultados y discusión

Desarrollo de la propuesta metodológica para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central

Como punto de partida para la formulación del estándar, al hacerles la consulta a los expertos sobre los principios y criterios que consideraban fundamentales de incluir en una metodología de evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática, se tuvo un total de 24 sugerencias. Los temas

mencionados con mayor frecuencia fueron información, capacitación y sensibilización sobre el tema (30 menciones), actividades alternativas a la producción agropecuaria tradicional (15 menciones), institucionalidad y gestión conjunta (13 menciones), enfoque participativo (10 menciones) y conocimiento local histórico (10 menciones). Con respecto a los principios y criterios preliminares, se le otorgó mayor relevancia al criterio P2C1: “se reconoce el incremento del riesgo de sequía en la cuenca”.

Con respecto a la evaluación del conjunto de principios y criterios preliminares por parte de los expertos, en una escala de 0 a 5, la relevancia tuvo un promedio general de 4,2, la facilidad de interpretación

del enunciado de 4,1, la disponibilidad de datos en forma periódica y a bajo costo de 3,1 y la no repetición entre principios y criterios de 3,9. Excepto para la relevancia, en todos los otros tres elementos, la calificación de los expertos de instituciones con visión global fue ligeramente inferior a la asignada por expertos de instituciones de visión local.

Con toda la información recopilada más la integración de los aportes de los expertos se elaboró la propuesta final del estándar para la evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, para cuencas de América Central. A continuación se detalla ese estándar.

P	C	I	V
I	Las políticas y los procesos de planificación regional (América Central) y nacional abordan la adaptación de los productores a la sequía (APS).		
	1.1	El Estado facilita y promueve la adaptación a través de su intervención y apoyo para fortalecer el capital social y económico.	
	1.1.1	Existen acuerdos presidenciales regionales de emergencia y estratégicos que contribuyen para esta APS.	
		1.1.1.1	No. y tipo de acuerdos presidenciales (emergencia o estratégico) firmados en la región.
		1.1.1.2	Evaluación del cumplimiento (bueno, regular, malo) de los acuerdos firmados.
	1.1.2	Hay una política sobre el tema y/o en las políticas transversales se incorpora el componente sequía.	
		1.1.2.1	No. de leyes o al menos en proceso de discusión relacionadas directa o indirectamente con la APS
	1.1.3	El Plan de Acción Nacional (PAN) o su equivalente (plan de lucha contra la desertificación y sequía, Plan de Desarrollo Nacional que contempla la APS) es aplicado concretamente en la cuenca.	
		1.1.3.1	Porcentaje de instituciones y ONG que emplean ese PAN o equivalente en la cuenca.
	1.1.4	Existencia de mecanismos que garanticen la operatividad de esta APS.	
		1.1.4.1	Presencia de sistemas de alerta temprana y/o de seguimiento de efectos relacionados con la sequía.
		1.1.4.2	Existe un esquema de financiamiento (PSA, fondos de cooperación internacional, otros) facilitado por el Estado, sector privado u otros, aplicado en la cuenca como parte del entorno (departamental, provincial, municipal).
		1.1.4.3	Porcentaje de productores de la cuenca con acceso a seguros agrícolas en función de la APS.
		1.1.4.4	Porcentaje de productores de la cuenca con acceso a créditos, fondos revolventes, ambientales y otros.
II	La institucionalidad presente en la cuenca toma en cuenta la adaptación de los productores agropecuarios a la sequía.		
	2.1	El gobierno municipal, instituciones, organizaciones, productores y demás actores locales reconocen el riesgo de sequía en la cuenca.	
		2.1.1	Se aplica un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) o su equivalente (plan rector, plan de desarrollo municipal, plan maestro, otros) que contemple las áreas más vulnerables a la sequía en la cuenca.
		2.1.1.1	Porcentaje de actores locales que conocen y aplican el POT o su equivalente.
	2.2	Existen sinergias y coordinaciones entre los actores de la cuenca y entre estos y los tomadores de decisión (nivel central/nacional) con respecto a la sequía.	



P	C	I	V
		2.2.1	Existe un organismo o instancia coordinadora de reuniones intersectoriales que impulse la participación activa de los actores locales en la cuenca.
		2.2.1.1	No. y frecuencia de reuniones para tratar la adaptación o aspectos relacionados con ella.
		2.2.1.2	No. de convenios y acuerdos de coordinación que aborden la APS.
		2.2.1.3	No. de alianzas estratégicas entre los actores claves de la cuenca.
		2.2.1.4	Porcentaje de familias beneficiadas por proyectos que se complementan en el objetivo de la APS en la cuenca.
	2.3	Las instituciones formales (creadas al amparo de una ley: ministerios, comisión de desarrollo municipal, etc.) y/o informales (creadas sin amparo de ley) facilitan y ejecutan estrategias y actividades proactivas y/o reactivas que promueven y contribuyen con la APS.	
		2.3.1	Existe inversión para la prevención de efectos causados por sequías prolongadas en la cuenca.
		2.3.1.1	No. y montos de dinero invertidos en proyectos y/o programas que tomen en cuenta la APS.
		2.3.1.2	No. de comisiones, entidades u organismos gestionando recursos en pro de la APS.
		2.3.1.3	Porcentaje de infraestructuras físicas (pozos, tanques) para hacer frente a la escasez de agua, contempladas en los planes operativos de las instituciones de la cuenca.
		2.3.1.4	Funcionamiento malo, regular o bueno de las infraestructuras físicas antes citadas.
		2.3.2	Existen mecanismos para el control de las estructuras y sistemas de distribución del agua de las empresas encargadas.
		2.3.2.1	Existe una instancia que regula concesiones de agua y resolución de conflictos en la cuenca.
		2.3.2.2	No. de medidores de agua tanto en las comunidades urbanas como rurales de la cuenca.
		2.3.2.3	No. de juntas de agua u otra instancia comunitaria en la cuenca.
		2.3.2.4	Funcionamiento (malo, regular o bueno) de las juntas de agua o instancia comunitaria similar.
		2.3.3	Las instituciones de investigación trabajan sobre nuevos cultivares y tecnologías adaptadas a la sequía.
		2.3.3.1	No de parcelas demostrativas de tecnologías promisorias para la APS establecidas en las fincas de productores.
		2.3.3.2	No. y funcionamiento de comités de investigación agrícola local u otro esquema de investigación participativa trabajando en esta adaptación.
		2.3.3.3	Funcionamiento (malo, regular o bueno) de los comités de investigación mencionados en el numeral anterior.
		2.3.3.4	Porcentaje de productores de la cuenca que utilizan las tecnologías propuestas.
III	Las estrategias y tecnologías agrosilvopecuarias utilizadas en las unidades de producción (finca) en la parte alta, media y baja de la cuenca permiten enfrentar o están adaptadas a la sequía.		
	3.1	Las actividades de adaptación en la finca incorporan el conocimiento local y adquirido de capacitaciones de agencias de extensión, ONG, proyectos y/o sector privado.	
		3.1.1	Existe ajuste en las fechas de siembra de los productores debido al retardo de la temporada de lluvias.
		3.1.1.1	Existe registro histórico de épocas de siembra para la región en la que se encuentra la cuenca.
		3.1.2	Los productores obtienen y emplean información sobre predicciones y respuestas del clima
		3.1.2.1	Porcentaje de productores que utilizan pronósticos y análisis de fechas más probables de entrada, salida de lluvias, periodos de canícula, etc., para la planificación y ejecución de sus actividades agrícolas en la cuenca.
		3.1.3	Existencia de microzonificación (localización de áreas para usos y manejo específicos) en las fincas.
		3.1.3.1	Porcentaje de productores que zonifican sus parcelas según características del suelo.
		3.1.4	Existencia de áreas de regeneración natural y/o reforestación con especies adaptadas y de múltiple propósito en la cuenca.
		3.1.4.1	Porcentaje de fincas y cantidad de áreas de regeneración natural y/o con reforestación de múltiple propósito en la cuenca.
		3.1.5	Empleo abonos orgánicos en las unidades productivas de la cuenca.
		3.1.5.1	Porcentaje de productores que realizan fertilización orgánica en la cuenca.
		3.1.6	Empleo de sistemas de ganadería ecológica.

P	C	I	V	
			3.1.6.1	Porcentaje de fincas con aptitud ganadera que emplean sistemas silvopastoriles o similares.
			3.1.6.2	Porcentaje de fincas ganaderas con pasturas mejoradas adaptadas a la zona.
			3.1.6.3	Porcentaje de fincas ganaderas que emplean silos para conservar alimentos para el ganado.
			3.1.6.4	Porcentaje de productores que trasladan sus animales a otras zonas durante las épocas críticas de sequía y suministro de forraje.
	3.2			Los sistemas de comercialización de productos en las fincas son eficientes.
		3.2.1		Mercados estables y rentables para la venta de los productos identificados en la cuenca.
			3.2.1.1	Porcentaje de productores conectados a esos mercados directos.
			3.2.1.2	Porcentaje de productores que reciben el pago justo por los productos en los plazos acordados.
IV				Las alternativas socioeconómicas no agrícolas y agrícolas no tradicionales son una medida de adaptación a la sequía.
	4.1			Se identifican actividades económicas no agrícolas que permiten al menos la subsistencia familiar ante la sequía
		4.1.1		La migración temporal a otras ciudades o países es una práctica frecuente en la cuenca.
			4.1.1.1	No. y género de miembros del hogar que realizan migración temporal para trabajar.
			4.1.1.2	Porcentaje de fincas afectadas por la migración (dificultad para seguimiento de proyectos, escasez de mano de obra en la cuenca, otros).
		4.1.2		La migración permanente aumenta los ingresos mediante remesas en la cuenca.
			4.1.2.1	Porcentaje de familias que reciben remesas de miembros que migraron.
		4.1.3		Se recurre a fabricación de artesanías dentro de la finca.
			4.1.3.1	Porcentaje de familias con ingresos por venta de artesanías en la cuenca.
		4.1.4		Se recurre a otras alternativas económicas locales que generan ingresos (elaboración de rosquillas, tortillas, jabones artesanales, otros) con prácticas amigables con el ambiente (uso racional de leña).
			4.1.4.1	Porcentaje de familias con ingresos generados por estas actividades.
		4.1.5		Existen sitios con potencial turístico en la cuenca que generan beneficio económico.
			4.1.5.1	No. de sitios turísticos identificados y aprovechados racionalmente en la cuenca.
			4.1.5.2	Porcentaje de familias beneficiadas por actividades en torno al turismo ambientalmente amigable en la cuenca.
	4.2			Se identifican actividades económicas no agrícolas tradicionales que permiten ingresos ante la sequía.
		4.2.1		Existen alternativas agrícolas no tradicionales y adaptadas a la sequía en la cuenca.
			4.2.1.1	Porcentaje de productores que obtiene recursos de rubros alternativos como henequén, pitahaya, sábila, plantas ornamentales, medicinales adaptadas a la escasez de agua, otros.
V				Existe una estrategia de comunicación y sensibilización de parte de los actores claves sobre el uso racional del agua ante las condiciones de escasez de la misma en la cuenca.
	5.1			Conocimiento técnico/científico y de las comunidades de la cuenca de que a pesar de las condiciones de escasez de agua, estas aún permiten algunas actividades productivas.
		5.1.1		Existencia de una cultura del aprovechamiento de las fuentes de agua superficial y subterránea en la cuenca como resultado de la comunicación y sensibilización adaptadas a las condiciones locales (etnias, nivel cultural, lenguas).
			5.1.1.1	Porcentaje de presas, cisternas, pilas, acequias, canales, lagunas y otras obras de captación y cosecha de agua superficial, adaptadas a las condiciones de la cuenca.
			5.1.1.2	Porcentaje de pozos de agua subterránea protegidos con reforestación, cercado, etc. en la cuenca.
			5.1.1.3	Porcentaje de pozos de provisión de agua doméstica priorizados, libres de contaminación en la cuenca.
	5.2			Los consumidores adoptan hábitos de consumo racional de agua para los diferentes usos priorizados en la cuenca.
		5.2.1		Los consumidores de agua de uso doméstico racionalizan su consumo.
			5.2.1.1	Existencia de registros de las empresas encargadas sobre la disminución del consumo promedio de agua/día.

P	C	I	V	
			5.2.1.2	Existencia de registro de aumento del nivel de agua en meses secos (agua subterránea).
		5.2.2		Los usuarios de agua para riego racionan su consumo.
			5.2.2.1	Existencia de registro de disminución del volumen de agua de irrigación.
			5.2.2.2	No. de sistemas de riego que ahorran agua (riego por goteo, microaspersión, otros) o hacen uso más eficiente del agua en el sistema de riego por gravedad (dosis y frecuencia de riego).
		5.2.3		Los consumidores de agua para generación hidroeléctrica, sector turismo, industrial, servicios (restaurantes, gasolineras, etc.), racionan y hacen un uso más eficiente de la misma.
			5.2.3.1	Existencia de registro de disminución de agua utilizada por los sectores hidroelectricidad, turismo, servicios (restaurantes, gasolineras, etc.) en los meses de déficit.

### Aplicabilidad de la propuesta metodológica para evaluar la adaptación a la sequía y a la variabilidad climática

En un taller con 22 técnicos de campo de las diferentes instituciones que trabajan o han trabajado en las comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes se probó la aplicabilidad práctica del estándar elaborado, mediante la calificación que cada técnico realizó del mismo. La calificación general promedio para el estándar fue de 3 (media). Al analizar cada elemento en particular, se obtuvo una calificación promedio de 4 (alta) para los principios. El principio 2 (La institucionalidad presente en la cuenca toma en cuenta la adaptación de los productores agropecuarios a la sequía) fue el de mayor calificación general (5), debido a que se notan actualmente esfuerzos dirigidos a mejorar las relaciones interinstitucionales y la participación local en varios procesos. Los evaluadores se identificaron con este enunciado y lo consideraron como un elemento clave para el desarrollo sostenible de la cuenca.

La calificación general promedio de los criterios propuestos fue de 3 (media); también la calificación promedio de indicadores y verificadores fue de 3. El Cuadro 4 presenta, a manera de ejemplo,

un resumen de las calificaciones otorgadas a una parte del estándar evaluado por los técnicos.

La mayoría de los elementos presentó calificación media pero los principios obtuvieron calificación alta, excepto el principio 1 que obtuvo calificación media. Esto denota la buena aceptación de los componentes generales del estándar propuesto. No hubo ningún principio ni criterio con baja calificación de aplicabilidad; solo un indicador (el 5.2.3: Los consumidores de agua para generación hidroeléctrica, sector turismo, industrial y servicios racionan y hacen un uso más eficiente de la misma) tuvo una calificación muy baja en aplicabilidad. Esto obedece a que, en este aspecto, la subcuenca no tiene un buen desempeño para ese indicador; asimismo, es posible que el indicador no es aplicable en toda su extensión a la subcuenca del río Aguas Calientes, dado que la misma no posee aptitud para la generación hidroeléctrica o industrial.

### Conclusiones

- A partir de un conjunto de principios, criterios, indicadores y verificadores fue posible diseñar una metodología para evaluar el nivel de adaptación de los productores a la variabilidad climática en América Central, principalmente a la sequía en cuencas hidrográficas.

- El estándar construido para evaluar la adaptación de los productores agropecuarios a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, contó con cinco principios generales que van desde lo general, considerando políticas regionales y nacionales e institucionalidad, hasta lo particular a nivel de la cuenca, tocando aspectos como estrategias y tecnologías agrosilvopecuarias, otras alternativas socioeconómicas y la estrategia de comunicación y sensibilización.
- En el proceso de prueba del estándar en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua, la calificación de aplicabilidad general del mismo fue media; sin embargo, los principios generales obtuvieron una calificación alta (cuatro). Es importante seguir aplicando el estándar en otras cuencas con características agroclimáticas similares para validar la metodología en la región centroamericana. La propuesta metodológica descrita en este documento es flexible a los ajustes necesarios que surjan en el proceso de validación.
- La metodología para la elaboración del estándar de evaluación, propuesta en esta investigación puede ser perfectamente utilizada en otros campos temáticos (agua potable, turismo, energía),

por lo que se recomienda retomarla a la hora de diseñar estrategias de adaptación a la variabilidad y cambio climático en esos sectores.

■ Esta metodología, así como las diseñadas para otros campos temáticos puede aplicarse a escalas diferentes de cuenca hidrográfica; se propone considerarlas como

ejemplo de aplicación práctica de la adaptación al cambio climático y flexibilización hacia otras escalas (país, región dentro de un país, países de una misma región).

#### Cuadro 4.

Calificaciones recibidas por el estándar para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central, según criterio de técnicos de la subcuenca del río Aguas Calientes\*

P	C	I	V	$\Sigma$ (axe)	$\Sigma$	Calificación obtenida (CG)	Calificación máxima posible (CE <sub>i</sub> max)	Nivel de calificación	Valoración
I				165	59,5	0,13	0,23	3	media
	1.1			151	72	0,10	0,19	3	media
		1.1.1		169	66,5	0,12	0,21	3	media
			1.1.1.1	106,5	48	0,10	0,29	3	media
			1.1.1.2	75,5	47	0,07	0,29	3	media
		1.1.2		161,5	66,5	0,11	0,21	3	media
			1.1.2.1	146	71	0,09	0,20	3	media
		1.1.3		146,5	70	0,10	0,20	3	media
			1.1.3.1	187	77	0,11	0,18	4	alta
		1.1.4		136,5	66	0,09	0,21	3	media
			1.1.4.1	149	73	0,09	0,19	3	media
			1.1.4.2	148,5	69	0,10	0,20	3	media
			1.1.4.3	65,5	50	0,06	0,28	2	baja
			1.1.4.4	178,5	71	0,11	0,20	3	media

\* Ejemplo tomado de una parte del estándar.

#### Literatura citada

- Benegas Negri, LA. 2006. Propuesta metodológica para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 160 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2001. Tercer informe de evaluación: Cambio Climático 2001. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Ginebra, Suiza, OMN-PNUMA. 101 p.
- Löe, R; Kreutzwiser, R; Moraru, L. 2001. Adaptation options for the near term: climate change and the Canadian water sector. *Global Environment Change* 11:231-245.
- Mendoza, G; Macoum, P. 1999. Guidelines for applying multicriteria analysis to the assessment of criteria and indicators. Bogor, ID, CIFOR. The Criteria and Indicators Toolbox Series 9. 86 p.
- Neil, W; Arnell, N; Tompkins, E. 2005. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*. 15:77-86.
- Prabhu, R; Colfer, C; Dudley, R. 1999. Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management. Bogor, ID, CIFOR. 186 p. (The Criteria and Indicators Toolbox Series 1).
- UNCCD (United Nation Convention to Combat Desertification). 2004. Comité para el examen de la aplicación de la aplicación de la convención. Notas de la secretaría (en línea). Consultado en abril 2005. <http://www.unccd.int/cop/officialdocs/cric1/pdf/4add12pa.pdf>.
- UNDP (United Nations Development Programme). 2003. User's guidebook for the adaptation policy framework. Geneve, CH, Global Environmental Facility. 40 p.
- WFP (World Food Programme). 2002. Standardized food and livelihood assessment in support of the Central American PRRO. Managua, Nicaragua, WFP. Final draft. 59 p.

# Evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas de América Central. Parte 2. Estudio de caso en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua<sup>1</sup>

**Laura Benegas<sup>2</sup>; Francisco Jiménez<sup>3</sup>;  
Bruno Locatelli<sup>4</sup>; Jorge Faustino<sup>5</sup>;  
Max Campos<sup>6</sup>**

El estándar de evaluación propuesto determinó que la subcuenca Aguas Calientes posee una baja adaptación a la sequía. Entre las estrategias de adaptación se encontraron la recuperación del bosque, la aplicación de tecnologías de captación y almacenamiento de agua de lluvia, la protección de fuentes de agua y las asociaciones de productores como microempresas.



Fotos: Laura Benegas.

<sup>1</sup> Basado en Benegas Negri, LA. 2006. Propuesta metodológica para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 160 p.

<sup>2</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. lbenegas@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

<sup>4</sup> CIRAD UPR Ressources Forestières, Montpellier 34398 Francia; CATIE; Grupo Cambio Global, Turrialba, Costa Rica. blocatel@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. faustino@catie.ac.cr

<sup>6</sup> ccrh@racsa.co.cr

## Resumen

Se aplicó una metodología para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. La valoración determinó una baja adaptación (promedio de 2 en una escala de 1 a 5). Se identificaron y caracterizaron las estrategias y tecnologías que aplican los productores agropecuarios para adaptarse a la variabilidad climática y a la sequía. En general, las estrategias y tecnologías empleadas para adaptarse a la sequía no se relacionan con el estrato de la cuenca; algunas sí dependen de la zona de la cuenca, como el empleo de sistemas de riego, captación y almacenamiento de agua, uso de barreras vivas o muertas, abonos verdes y plantación de frutales. Como alternativa de diversificación, se determinó la factibilidad financiera de dos cultivos adaptados a la sequía y producidos en la subcuenca - el henequén y la pitahaya. La producción de henequén bajo el sistema tradicional de la subcuenca es una actividad económicamente poco sostenible. El cultivo de pitahaya, en todos los escenarios estudiados, arrojó indicadores financieros que harían atractiva la inversión.

**Palabras claves:** Cuencas hidrográficas; productores; cambio climático; sequía; adaptación; estudios de casos; río Aguas Calientes; Nicaragua.

## Summary

**Evaluation of the the farmer's adaptation to the climate variability, specifically drought in Central America's watershed. Part 2. Study of case in the sub-watershed of Aguas Calientes, Nicaragua.**

A methodology was applied to evaluate farmers' adaptation to climate variability, and mainly to drought, in the sub-watershed of Aguas Calientes, Nicaragua. The results showed a low level of adaptation (2 in a 1-to-5 scale). Strategies and technologies used by farmers to adapt to climate variability and drought were identified and characterized. In general, strategies and technologies used for climate variability adaptation are not related to watershed strata; however, some of them are strata-dependent, like irrigation systems, water harvesting and storage, use of living and non-living barriers, green manures and fruit plantations.

Financial feasibility of two crops adapted to drought and produced in this watershed -henequen and pitahaya- was determined, as a diversification alternative. Traditional systems of henequen production in the sub-watershed are unsustainable. On the contrary, all the scenarios evaluated for pitahaya showed positive financial indicators that would make attractive the inversion in this crop.

**Keywords:** Watershed; farmers; climate change; drought; adaptation; studies of case; Aguas Calientes river; Central America; Nicaragua.

## Introducción

La fase complementaria lógica y necesaria en el proceso de desarrollo de una metodología es su validación en condiciones reales. La metodología desarrollada para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central se describió en Benegas et ál., pág. 107 en este mismo número de la RRNA. El estudio de caso que a continuación se detalla se basa en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua,

la cual presenta condiciones frecuentes de variabilidad climática y sequía. La región de las Segovias, en donde se ubica la subcuenca del río Aguas Calientes, presenta gran variabilidad de precipitaciones, un periodo anual de sequía generalmente mayor de seis meses y periodos caniculares irregulares; la principal actividad agrícola en esa zona es la producción de granos básicos (MARENA 2004).

En zonas con limitaciones o excesos hídricos y alta variabilidad climática, los productores enfrentan diariamente el reto de producir al

menos para la subsistencia de sus familias. Allí, el cambio climático agudiza aún más la situación. Para sobrevivir en este ambiente social y biofísico, los productores recurren a diferentes estrategias, prácticas y tecnologías; por ejemplo, el ajuste de las fechas de siembra, el empleo de variedades con ciclos diferenciados, la microzonificación de la finca, el uso de cultivos resistentes/tolerantes, riego, evitación y manejo de cultivos. Las condiciones de sequía y variabilidad climática que presenta la zona de estudio requieren estrategias y tecnologías de adaptación, así como

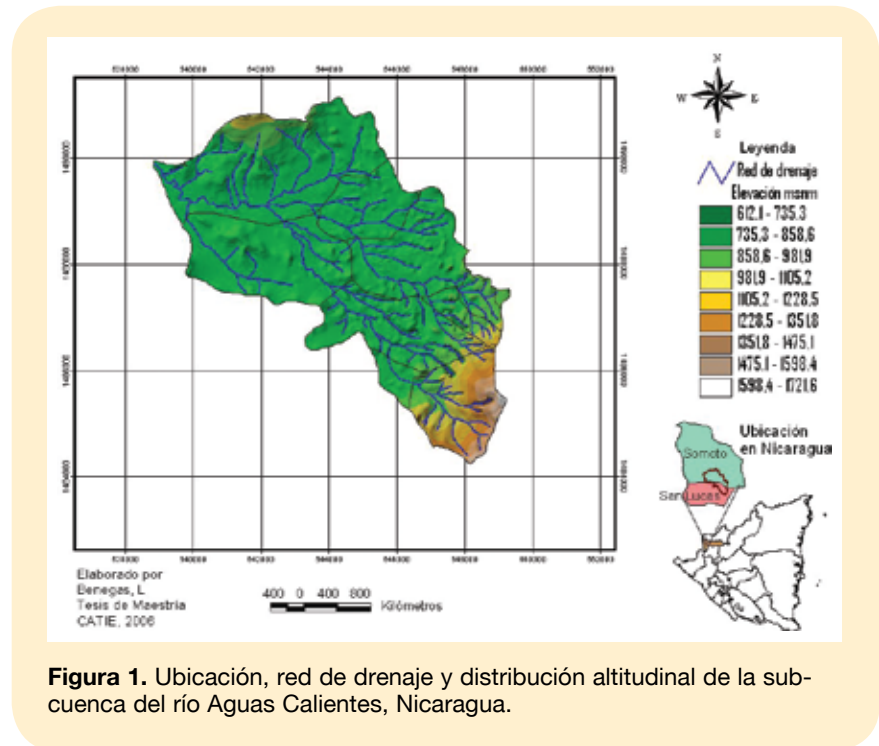
alternativas productivas ecológica y socioeconómicamente viables. Dos cultivos con potencial de adaptación a las condiciones agroclimáticas de la zona son el henequén y la pitahaya. El henequén (*Agave fourcroydes*) es originario de las áreas secas de la península de Yucatán, México; pertenece a la familia de las agaváceas, las principales productoras de fibras duras (León 1987). La pitahaya es una planta suculenta rústica y xerofítica de la familia de las cactáceas, trepadora, perenne, de conformación arbustiva, originaria de México; se desarrolla bien en zonas de baja o mediana precipitación. En Nicaragua, la especie más cultivada es *Hylocereus trigonus*, que tiene tallos de tres aristas y frutos de colores rojo a rojo intenso, morado claro y amarillo claro (López 1996).

El estudio tuvo tres objetivos complementarios: a) Aplicar la metodología desarrollada para evaluar la adaptación a la variabilidad climática y calificar el nivel de adaptación de la subcuenca. b) Plantear estrategias y tecnologías de adaptación que puedan integrarse a los planes de manejo de la subcuenca. c) Evaluar el potencial del henequén y la pitahaya como alternativas productivas en las estrategias de adaptación a la sequía y la variabilidad climática en la subcuenca.

## Metodología

### Localización y características principales del área de estudio

La subcuenca del río Aguas Calientes se ubica en la región de Las Segovias, departamento de Madriz, entre las coordenadas 13°24'10" y 13°29'28" latitud norte y 86°34'12" y 86°39'39" longitud oeste (Alcaldía Municipal de Somoto 2001). La subcuenca forma parte de la red del río Coco y posee numerosos tributarios (Fig. 1). En el área de estudio hay diez comunidades, ocho del municipio de Somoto (Aguas Calientes, Quebrada de Agua, Mansico, Los Copales, Santa Rosa, Rodeo No. 2,



**Figura 1.** Ubicación, red de drenaje y distribución altitudinal de la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua.

Santa Isabel, Unile) y dos del municipio de San Lucas (El Volcán y El Porcal). La subcuenca abarca una superficie de 47,4 km<sup>2</sup> (4737 ha) en los municipios de Somoto (84,5%) y San Lucas (15,5%). La altitud varía de 620 a 1730 msnm, aunque el 70% del área está entre 620 y 800 msnm (Cajina 2006).

El clima de la subcuenca es tropical seco. La precipitación media anual de los últimos 43 años es de 823 mm con variaciones entre 448 mm y 1449 mm. A través del año, las lluvias son muy irregulares en cantidad e intensidad. En general se dan dos periodos estacionales: un periodo seco desde diciembre a abril y un periodo lluvioso de mayo a noviembre; en este último entre julio y agosto se presenta un subperiodo de bajas precipitaciones (y a veces totalmente seco) llamado canícula, con duración variable de 15 a 40 días. La canícula, la baja precipitación y la irregularidad de las lluvias afectan los rendimientos de los cultivos, principalmente los granos básicos. Gómez (2003) indica que el periodo de canícula generalmente coincide con el periodo de floración

o llenado del grano de maíz y frijol, lo que afecta fuertemente el rendimiento de los cultivos y la seguridad alimentaria de los pobladores.

### Recolección y análisis de la información

En el Cuadro 1 se presenta un resumen del proceso metodológico desarrollado durante el estudio de caso. Para determinar el grado de cumplimiento del estándar en la subcuenca, se solicitó la colaboración de 22 técnicos que trabajan en la zona. Cada evaluador recibió una hoja con el estándar completo y un instructivo acerca del llenado. Se utilizó una escala fija de calificaciones (Cuadro 2). El promedio final para la subcuenca del río Aguas Calientes se obtuvo de los puntajes asignados por cada evaluador a cada uno de los principios, criterios, indicadores y verificadores.

Para la recolección de la información primaria (estrategias y tecnologías de adaptación a la sequía y a la variabilidad climática empleadas por los productores) se tomó la finca como unidad principal de análisis.

**Cuadro 1.**

Proceso metodológico desarrollado durante el estudio de caso en la subcuenca del río Aguas Calientes

Objetivo específico	Actividades	Información recolectada	Método de análisis
Aplicar la propuesta metodológica utilizando como estudio de caso la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Análisis multicriterio del estándar aplicado para calificar el nivel de adaptación de la subcuenca.</li> <li>» Encuestas a productores agropecuarios de las comunidades (155, 13% de la población) escogidas por estrato de la subcuenca.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Calificación promedio del nivel de adaptación de la subcuenca.</li> <li>» Características de los productores en cuanto a su actividad agropecuaria, estrategias y tecnologías de adaptación a la sequía, percepción de la variabilidad climática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Ponderaciones y promedios con base en escalas fijas (ver detalle a continuación)</li> <li>» Estadísticas descriptivas (máxima, mínima, promedio y desviación estándar de los datos continuos) y tablas de contingencia (prueba de chi cuadrado) sobre los principales datos cualitativos de las encuestas.</li> </ul>
Plantear estrategias y tecnologías de adaptación adecuadas para integrarlas en planes de manejo a nivel de subcuenca, según nivel de adaptación a la sequía y variabilidad climática.	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Taller con líderes de las comunidades de la subcuenca y con los principales técnicos de las instituciones que trabajan en el área.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Comunidades y sectores de mayor vulnerabilidad a la sequía en la subcuenca. Estrategias y tecnologías como alternativas de solución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Determinación de rangos de vulnerabilidad a la sequía en las diferentes comunidades (SIG usando mapa base de vulnerabilidad a la sequía (Gómez 2003).</li> <li>» Composición, ordenamiento y clasificación de las ideas.</li> </ul>
Evaluar el potencial del henequén y la pitahaya como alternativas productivas con adaptación a condiciones de sequía, al nivel de finca.	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Encuesta a productores que realizan esta actividad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Costo de producción del cultivo en fincas, oferta local (superficie cultivada e intenciones de expansión), productividad, precio de venta, demanda local y regional, cadena de comercialización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Cálculo de indicadores financieros: VAN (valor actual neto), TIR (tasa interna de retorno), B/C (relación beneficio costo).</li> </ul>

Se define como finca al hogar cuya principal fuente de ingresos es la producción agropecuaria. Se seleccionaron comunidades representativas de la zona alta, media y baja de la subcuenca, de manera que se pudiera establecer la existencia o no de conexiones entre las prácticas desarrolladas por los productores de las diferentes zonas; esto permitió inferir si se aplica o no un enfoque de cuencas hidrográficas. Se estableció un tamaño de muestra proporcional al tamaño de cada estrato.

Las comunidades muestreadas se seleccionaron con base en los resultados del estudio de Lorío (2004). En la parte alta: El Volcán y El Porcal; en la parte media: Unile, Quebrada de Agua, Mansico y Santa Isabel; en la parte baja: Aguas Calientes y Santa Rosa. La fase de campo se desarrolló entre los meses de enero y julio del 2006.

Para evaluar el potencial financiero de los cultivos de henequén y pitahaya se elaboraron modelos de costos de producción para ambos, partiendo de los sistemas descritos

por los productores de la subcuenca. En los modelos de producción considerados se buscó construir el sistema que integre todas las actividades que se realizan en el cultivo; es decir que el modelo no representa a un productor particular entrevistado sino el sistema de producción promedio que existe en la subcuenca del río Aguas Calientes. Para el cultivo de henequén se consideró una superficie media de 0,70 ha; se incluyeron todos los gastos desde el establecimiento de la plantación hasta la finalización de un ciclo de

producción de diez años de duración. Se tomó este periodo debido a que el mismo representa en promedio la vida útil del cultivo si se le da el manejo apropiado. Después de diez años, los rendimientos disminuyen considerablemente, por lo que se debe renovar la plantación.

Para la pitahaya, el sistema de producción incluye el establecimiento, la limpieza del área, acarreo, hoyado y plantación con tutores tomados de la propia finca o de la comunidad, por lo que no representan un costo adicional. A partir del

**Cuadro 2.**

Escala de calificaciones para los elementos del estándar

Puntaje	Descripción
0	Principio, criterio, indicador o verificador no aplicable en la subcuenca.
1	<b>Muy baja adaptación:</b> Condición/situación extremadamente débil, muy desfavorable; se deben tomar medidas fuertes.
2	<b>Baja adaptación:</b> condición/situación pobre, desfavorable, debido a las características propias de la región; es necesario mejorar.
3	<b>Moderada adaptación:</b> situación aceptable, al menos para las características de la región, se necesita ajustes mínimos.
4	<b>Alta adaptación:</b> situación/condición muy favorable.
5	<b>Muy alta adaptación:</b> situación/condición ideal.



segundo año se da un mantenimiento sencillo con podas de formación y saneamiento, limpieza, aplicación de insecticidas, fungicidas y abono orgánico elaborado por el propio agricultor. Debido a que el sistema de cultivo de pitahaya en la subcuenca se da en el patio o huerto casero, con un manejo muy tradicional y prácticamente sin inversiones, el mismo fue comparado con otros dos sistemas de producción de pitahaya: el sistema semi-tecnificado en Masaya, la zona productora por excelencia, y el de la zona de Mozonte en la parte norcentral de Nicaragua. Las condiciones topográficas y climáticas de Mozonte son similares a las de Aguas Calientes. Por lo tanto, se consideraron tres escenarios: (1) el sistema de huerto casero en la subcuenca, (2) el sistema de producción de Mozonte, (3) el sistema de producción de Masaya.

A partir de los modelos para los sistemas de producción de henequén y pitahaya se calcularon los indicadores financieros de valor actual neto, tasa interna de retorno y relación beneficio-costos, para así obtener indicadores comparables con otras opciones productivas y proporcionar un elemento de decisión al productor a la hora de pensar en la diversificación con estos cultivos. Para el análisis se utilizó una tasa de descuento (td) del 10%, basada en las tasas de interés que pagan los bancos en Nicaragua para ahorros en moneda local (8-12% anual). Además, por medio de análisis de sensibilidad se ensayaron los cambios que sufrirían estos sistemas de producción al modificar algunos elementos de la producción y comercialización.

## Resultados y discusión

Calificación del nivel de adaptación a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en la subcuenca del río Aguas Calientes. Se obtuvo como promedio general, un nivel de adaptación de 2 (a partir

de la sumatoria del peso de cada elemento jerárquico con el valor de cada uno), lo cual indica que la subcuenca Aguas Calientes presenta deficiencias en cuanto a su adaptación a la sequía como componente más importante de la variabilidad climática natural. Los cuatro elementos que recibieron una puntuación de uno (muy baja adaptación) fueron aquellos que tienen que ver con el racionamiento y uso más eficiente del agua (I5.2.3 y V5.2.3.1), los seguros agrícolas (V1.1.4.3) y el turismo ambientalmente amigable (V4.1.5.2). Dos elementos recibieron una puntuación de cuatro (alta adaptación); los correspondientes a la institucionalidad presente en la cuenca (P2 y C2.1). Ver información sobre principios, criterios, indicadores y verificadores en Benegas et ál., pág. 107 en este mismo número de la RRNA).

## Estrategias y tecnologías de adaptación a la sequía

Para analizar si las estrategias y tecnologías de adaptación tenían un enfoque de cuencas hidrográficas se desarrollaron tablas de contingencia y pruebas de hipótesis de independencia de variables. Se encontró que en las comunidades de la subcuenca se practican estrategias y tecnologías de adaptación independientes del estrato considerado; ellas son: utilización de cultivos adaptados (variedades criollas de granos básicos), semillas mejoradas y cultivos alternativos; microzonificación de parcelas; elaboración de artesanías; uso de pasturas mejoradas; migración temporal a otros sectores del país o a otros países; establecimiento de huertos familiares; fuentes de agua protegidas; siembra en curvas a nivel; empleo de terrazas; fertilización orgánica; establecimiento de viveros (árboles para reforestación o frutales); cría y utilización de animales menores. Sin embargo, se encontraron algunas estrategias y tecnologías que mostraron dependencia de la zona de la cuenca; entre ellas: empleo de sistemas de riego (parte

baja), sistemas de captación y almacenamiento de agua, uso de barreras vivas o muertas, empleo de abonos verdes y plantación de frutales (parte alta). Estas estrategias de adaptación corresponden, en el caso del riego, a la principal actividad agrícola - producción de hortalizas con microrriego (Cajina 2006).

Las tecnologías que dependen de la zona indican que para la difusión y utilización de las mismas no se está siguiendo un enfoque integral de cuencas en todos los estratos, principalmente en cuanto a las técnicas para favorecer la conservación de suelos y aguas (barreras vivas o muertas, abonos verdes y sistemas de almacenamiento y captación de aguas). Sin embargo, el hecho de que los sistemas de riego y plantación de frutales sea diferenciado por estratos no indica necesariamente que el enfoque de cuencas esté aislado, sino que las técnicas se adoptan en función de la capacidad de uso del suelo. Estos resultados coinciden en parte con los obtenidos por Gómez (2003), quien determinó un bajo porcentaje de familias que poseen estructuras para almacenar agua, pozos y riego en sus fincas, lo que hace que el grado de vulnerabilidad a la sequía sea muy alto en varias zonas de la subcuenca.

**Valoración de las áreas más vulnerables a la sequía y planteamiento de estrategias y tecnologías de adaptación en la subcuenca del río Aguas Calientes**  
Para establecer una jerarquización de las estrategias y tecnologías de adaptación a la sequía, se partió de una revalorización de los sectores críticos. Para ello se utilizó como base el mapa de vulnerabilidad a la sequía realizado por Gómez (2003); además, se redefinieron las comunidades, e incluso las áreas más vulnerables a la sequía, bajo el criterio determinante de disponibilidad de agua para consumo humano de forma permanente. A partir de esta clasificación se plantearon alternativas de solución que permitan la

adaptación de las áreas identificadas como de alta vulnerabilidad, de acuerdo a las opiniones expresadas por productores y técnicos de la subcuenca. Las mismas se clasificaron en estrategias y tecnologías (Cuadro 3). Se destacó una estrategia común en las áreas priorizadas, la cual contempla los siguientes puntos: protección de pequeñas fuentes de agua superficial y subterránea (cercado, reforestación), fomento de asociaciones de productores para procesar frutos, con posibilidad de crear microempresas.

### El henequén y la pitahaya como alternativas productivas en las estrategias de adaptación a la sequía y la variabilidad climática

#### Cultivo de henequén

Los costos promedio de producción de henequén bajo el sistema tradicional en la subcuenca son de US\$627 por manzana (0,70 ha) el primer año. Estos costos incluyen el establecimiento y el manejo de la plantación; aunque a partir del segundo año, una vez establecido el cultivo, los costos de mantenimiento se reducen a US\$227 debido a que aún no se cosecha la fibra. A partir del tercer año, se tiene un costo estable que asciende a

US\$ 484, incluyendo el mantenimiento y la cosecha de la fibra.

Los indicadores de rentabilidad financiera obtenidos para el modelo de producción de henequén mostraron un valor actual neto (VAN) al final del décimo año de \$78, valor negativo para el ciclo de producción seleccionado (diez años). La relación beneficio/costo (B/C) también indica un valor no satisfactorio (0,97). La tasa interna de retorno (TIR) fue de 8%, valor que indica que la actividad no es rentable en situaciones donde la tasa de descuento es superior a 8%, y que cualquier actividad que genere tasas de descuento mayores resultará más rentable que la producción de henequén. Los resultados de los indicadores estimados reflejan que la producción de henequén bajo el sistema actual de la subcuenca es insostenible financieramente. La inversión produce réditos negativos, ya que por cada dólar invertido se pierden 0,03 dólares y la capitalización al final del ciclo es negativa. Sin embargo, es posible que algunos productores aún reciban beneficios de la plantación, ya que sus costos de producción son menores a los

considerados en el modelo; o sea que dejan de realizar actividades de mantenimiento como fertilización o control de plagas, entre otros.

Por lo general, los productores venden la fibra como materia prima (sin procesamiento). El análisis de sensibilidad consideró la venta de fibra procesada (mecate), con lo que se obtuvieron valores de rentabilidad financieramente atractivos para el pequeño productor henequenero. Aun si se consideran pequeños porcentajes de disminución en el precio de venta y aumentos en los costos por la transformación de la fibra, la rentabilidad sigue siendo positiva. Esto obedece a que el precio de venta es aproximadamente tres veces mayor al de la fibra. Con este escenario se tendrían capitalizaciones de US\$3400-2460 a lo largo del ciclo. En todos los casos, los beneficios superarían a los costos y la TIR sería mucho mayor a la tasa de descuento considerada para el análisis.

#### Cultivo de pitahaya

El sistema de cultivo emplea en su totalidad mano de obra familiar. Por lo general, las encargadas de la comercialización de la fruta son las

**Cuadro 3.** Estrategias y tecnologías identificadas por comunidades con alta vulnerabilidad a la sequía en la subcuenca del río Aguas Calientes

Comunidad	Estrategias o tecnologías	
Santa Isabel	<b>Tecnologías:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de captación de grandes volúmenes de agua de lluvia ajustados a demanda</li> <li>• Obras de conservación de suelo y agua con técnicas adecuadas</li> </ul>	
Aguas Calientes, sector Las Penas	<b>Tecnologías:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de regeneración natural de la cobertura vegetal</li> <li>• Sistemas de captación de agua de techo y lluvia en las viviendas</li> <li>• Obras de conservación de suelos</li> </ul>	
Unile	<b>Estrategias:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Confección de artesanías de henequén</li> <li>• Estudio de la composición del subproducto del desfibre de henequén y enriquecimiento del mismo para uso como abono orgánico</li> <li>• Validación de alternativas (semillas y otros) y estudio de potencialidades de mercado</li> <li>• Gestión de apoyo económico para ensayos conducidos por pequeños grupos de experimentadores sobre sorgo africano cruzado con variedades criollas</li> </ul>	<b>Tecnologías:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asociación del henequén con sorgo durante los primeros tres años de la plantación</li> <li>• Empleo de los residuos de henequén para abonar áreas más deterioradas en la zona; tratamiento de residuos para lograr su descomposición adecuada</li> <li>• Validación de otros rubros alternativos, como el cultivo de pitahaya</li> <li>• Creación de un banco de semillas de variedades criollas, adaptadas a las condiciones locales</li> </ul>
Santa Rosa	<b>Tecnologías:</b> Validación de semillas y rubros no tradicionales como yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ), camote ( <i>Ipomoea batatas</i> ), piña ( <i>Ananas comosus</i> ), jocote corona y tronador ( <i>Spondia pupurea</i> ), calala ( <i>Passiflora edulis</i> ), granadilla ( <i>Passiflora ligularis</i> ), papaya ( <i>Carica papaya</i> ), limón indio ( <i>Citrus sp.</i> ), zacate de limón ( <i>Cymbopogon citratus</i> )	

mujeres del hogar. Los costos totales de producción para este sistema ascienden a US\$114, incluyendo el establecimiento y otorgándole valor a la mano de obra empleada. Sin embargo, a partir del segundo año, los costos de mantenimiento disminuyen a US\$91.

El Cuadro 4 presenta los indicadores financieros obtenidos para los tres escenarios evaluados: (1) el sistema de huerto casero en la subcuenca, (2) el sistema de producción de Mozonte y (3) el sistema de producción de Masaya. Se puede ver que en todos los escenarios se obtienen indicadores financieros con valores que harían atractiva la inversión en el rubro. El escenario 1 presentó el menor VAN por la escasa densidad de plantas que utilizan y los cuidados mínimos para el manejo; sin embargo, la razón B/C es superior a 1 y la TIR es positiva y bastante mayor a la tasa de descuento utilizada en el cálculo de los indicadores. Los escenarios 2 y 3 poseen TIR muy altas, así como razón B/C superiores a 1. El escenario 3 es claramente el que devuelve el mayor valor de capitalización a lo largo del ciclo; no obstante, la razón B/C del escenario 2 es un poco mayor que este debido, posiblemente, a que se obtienen mayores beneficios con este sistema de menor superficie y manejo semitecnificado pero con costos menores y mayor precio de venta. Lo anterior podría responder también a que la oferta (número de productores de pitahaya) de esa zona es todavía muy baja, comparada con el mayor número de productores en Masaya.

#### Conclusiones

- El estándar de evaluación propuesto determinó que la subcuenca Aguas Calientes posee una baja adaptación a la sequía.
- Las calificaciones particulares por nivel jerárquico indican los aspectos en los cuales el desempeño de la subcuenca es más deficiente; los

**Cuadro 4.**

Indicadores financieros para los escenarios de producción de pitahaya en la subcuenca del río Aguas Calientes

Indicador	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
VAN (US\$)	89	3225	5719
TIR	42%	> 100%	>100%
B/C	1,13	1,68	1,54
Valor de la mano de obra familiar (US\$)	2,4	28,1	
i%(td) 10,0%			

mismos son una base para diseñar estrategias específicas que conduzcan a mejorar la situación.

- Se determinó que en la subcuenca del río Aguas Calientes se aplica el enfoque sistémico de cuencas hidrográficas de manera parcial y con muchas debilidades.
- Entre las estrategias de adaptación a la sequía en la subcuenca se encontraron la recuperación del bosque, la aplicación de tecnologías de captación y almacenamiento de agua de lluvia, la protección de fuentes de agua y las asociaciones de productores como microempresas.
- El análisis financiero indicó que el cultivo de henequén, como alternativa de adaptación a la sequía, bajo el sistema de producción actual es una actividad insostenible. Sin embargo, al considerar la transformación de la fibra en mecate (cabuya de henequén), la

rentabilidad del rubro sí presenta valores atractivos financieramente para el pequeño productor henequenero.

- El análisis financiero del cultivo de pitahaya, como alternativa de adaptación a la sequía, bajo el sistema de producción en huertos caseros posee indicadores financieros positivos, pero con muy baja capitalización de fondos en comparación con los sistemas productivos de Mozonte.
- El cultivo de pitahaya sería una buena alternativa de adaptación en la subcuenca si se emplea el mismo sistema de Mozonte (mayor número de plantas por superficie), atendiendo principalmente a que en el mercado más cercano (municipio de Somoto), toda la oferta de pitahaya proviene de Masaya. La producción de pitahaya en la subcuenca podría abastecer el mercado de Somoto.

#### Literatura citada

- Alcaldía Municipal de Somoto. 2001. Plan rector de producción y conservación: subcuenca del río Aguas Calientes. Somoto, NI, Alcaldía Municipal de Somoto-TROIOSEC. 36 p.
- Benegas Negri, LA. 2006. Propuesta metodológica para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 160 p.
- Cajina, M. 2006. Alternativas de captación de agua en la subcuenca del río Aguas Calientes para mejorar los beneficios socioeconómicos y ambientales de las comunidades de los municipios de Somoto y San Lucas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 228 p.
- Gómez, S. 2003. Análisis de vulnerabilidad con énfasis en sequía en la subcuenca del Río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 91 p.
- León, J. 1987. Botánica de cultivos tropicales. San José, CR, IICA. 445 p.
- López, H. 1996. Cultivo de la pitahaya. Managua, NI, INTA. Guía tecnológica no. 6. 25 p.
- Lorío, A. 2004. Procesos organizativos, regulación y tecnologías para el manejo y conservación del recurso hídrico y mitigación de la sequía, subcuenca del Río Aguas Calientes, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 165 p.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, NI). 2004. Programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía. Managua, NI, MARENA-PNUD. 50 p.

# Elementos claves para el manejo y gestión del agua en el municipio de Valle de Ángeles, Honduras<sup>1</sup>

Oscar Angulo A<sup>2</sup>; Cornelis Prins<sup>3</sup>; Jorge Faustino<sup>4</sup>; Róger Madrigal<sup>5</sup>

El estudio encontró elementos claves que se deben considerar a la hora de fortalecer las actividades iniciadas en pos de un manejo y buena gestión del agua en Valle de Ángeles: no se cuenta con una política local del agua ni con ordenanzas municipales; las comunidades realizan prácticas para proteger y aprovechar bien el agua; la presencia del Consejo de Cuencas y las juntas administradoras de agua es vital para la gestión de este recurso; la presencia de conflictos es el resultado de la falta de normas para abordar situaciones problemáticas.



Fotos: Oscar Angulo.

<sup>1</sup> Basado en Angulo, O. 2006. Gobernabilidad e institucionalidad para la gestión, protección y aprovechamiento del agua en el Municipio de Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 156 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo Integrado de Cuencas, CATIE. oangulo@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Grupo de Socioeconomía Ambiental, CATIE. prins@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. faustino@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Grupo de Socioeconomía Ambiental, CATIE. rmadriga@catie.ac.cr

## Resumen

En Valle de Ángeles ocurren situaciones de conflicto de uso de la tierra por la presión urbana y el crecimiento de la frontera agrícola, las cuales afectan las zonas donde se ubican las fuentes y presas de agua. Con el fin de dar solución a estos problemas se inició un proceso de manejo y gestión de los recursos naturales, con base en la metodología investigación-acción participativa. Se buscó estudiar la legislación, la capacidad de los actores, la presencia de conflictos socio-ambientales referidos al recurso y factores a favor o en contra de la protección del agua. Se identificaron elementos claves que sirvan de insumos para orientar una buena gestión del agua. Valle de Ángeles no cuenta con una política ni ordenanzas municipales locales sobre el agua. La municipalidad y las juntas administradoras de agua tienen problemas para administrar los sistemas de agua potable y no se encuentran preparadas para asumir mayores responsabilidades. Si bien existen conflictos socio-ambientales de uso de la tierra, también se han dado procesos de mediación que han permitido solucionar conflictos. Existen factores que inciden negativamente en el manejo del agua, pero que mediante estrategias apropiadas pueden cambiarse a favor de la protección del agua.

**Palabras clave:** Cuencas hidrográficas; agua potable; ordenación de aguas; uso de la tierra; recursos hídricos; conservación de aguas; conflictos sociales; Valle de Ángeles; Honduras.

## Summary

**Key elements for water management and negotiation in Valle de Angeles, Honduras.** In Valle de Angeles there are land use conflicts due to urbanization and agriculture border expansion, affecting the areas where the water sources and dams are located. Aiming at solving those problems, a natural resource managing and negotiating process was begun using the participative methodology Research-Action. The study was focused on legislation, stakeholders' capacities, water environmental conflicts, and pros and cons to water protection. Key elements to guide water management and negotiation were identified. There are no policies or standards for water management in Valle de Angeles. The municipality and water administrating corps are not capable of managing drinkable water systems adequately, neither are they able to assume bigger responsibilities. Even though, mediation processes have arisen to propose solutions to conflicts. Factors that impact water management negatively can be turned into positive ones using appropriate strategies.

**Keywords:** Watershed; water potable; ordenation of water; land use; hydric resources; water conservation; social conflicts; Valle de Angeles; Honduras.

## Introducción

Actualmente se intenta proveer de agua a la mayor cantidad de gente y de la forma más equitativa posible entre los distintos usuarios del recurso. El 2º Principio de Dublín indica que el aprovechamiento y la gestión del agua deben considerar la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones en

todos los niveles (Van Hofwegen y Jaspers 2000). En Centroamérica, a pesar de la disponibilidad de agua, no se satisfacen todas las demandas ni se toman previsiones para garantizar el abastecimiento a futuro (Colom 2002). En Honduras, la crisis se refleja en muchas cuencas donde el agua escasea durante la época seca. Se percibe un limitado cumplimiento de las responsabilidades de los actores

(gobierno y usuarios directos) y un limitado conocimiento de la dinámica hídrica en el ámbito rural (Ferrera 2005). La solución a la crisis del agua no tiene que ver con la incorporación de nuevos y extraordinarios avances tecnológicos ni de enfoques orientados al suministro, sino con el cambio en la manera en que se usa y administra el agua (Ballesteros 2001). Es necesario, entonces, generar espacios

en los que los diversos actores sociales participen en la toma y ejecución de decisiones; asimismo, se debe verificar que haya correspondencia entre la decisión y la ejecución (Castro et ál. 2004).

Se debe trabajar en la generación de la institucionalidad (reglas del juego) que permita una buena gestión del agua. En la gestión de los recursos naturales se encontró que muchas instituciones (a veces milenarias) se originaron y mantuvieron (aunque adaptándose) por su función de defensa y administración de los recursos naturales de interés para la subsistencia de las comunidades. En consecuencia, si un bien es apreciado por sus usuarios, tiende a ser protegido mediante una serie de códigos de conducta y reglas del juego (Uphoff citado por Prins 2005). En el funcionamiento de un sistema de agua, la combinación de organización, conocimiento y normatividad (*software*) hace viable la operación, mantenimiento y conservación de la obra (*hardware*) y del recurso hídrico mismo (Prins 2005).

En el municipio de Valle de Ángeles (Fig. 1), la protección y conservación de los recursos hídricos está amenazada por la continua presión del urbanismo y por el avance de la frontera agrícola para la producción de hortalizas para el mercado de Tegucigalpa. Ambas amenazas llegan cada vez más cerca de las fuentes de agua y generan contaminantes que amenazan la calidad del recurso hídrico. Estos factores deben tomarse como retos para convertirlos en instrumentos que coadyuven a la gestión del agua. Uno de esos retos es el desarrollo de la capacidad para la gestión municipal de los recursos hídricos.

Las nuevas normativas nacionales dan mayores facultades y responsabilidades a la municipalidad y a las juntas administradoras del agua, pero a la vez les exige mayor capacidad de gestión y organización. Se inició, entonces, un proceso que



Foto: Oscar Angulo.

**Figura 1.** Vista parcial de Valle de Ángeles y parte de la subcuenca del río La Soledad

responde a la necesidad de desarrollar y compartir herramientas e instrumentos para la gestión del agua, con el fin de diseñar un modelo de cogestión adaptativa y sostenible aplicable a condiciones locales (CATIE 2004). El estudio de carácter descriptivo y de tipo cualitativo se insertó en el proceso acción-investigación participativa ejecutado por el Programa Focuecas II en el Valle de Ángeles.

Se buscó fortalecer la capacidad de acción y la toma de decisiones de autoridades municipales y organismos locales responsables de la gestión, protección y aprovechamiento de los recursos hídricos. Para ello se definieron elementos claves que permitan entender y fortalecer la gestión del agua a través del análisis de las leyes, la capacidad de los actores, los conflictos existentes y los factores y actores que inciden en la gestión.

### Metodología

La metodología desarrollada contempló cuatro componentes interconectados dentro de un marco lógico (matriz) estructurado con base en los objetivos planteados (Fig. 2). Esto permitió organizar la recolección de datos de manera sistemática.

### Normativa para el manejo y gestión de los recursos hídricos.-

Se desarrollaron dos tareas. 1) Análisis de la normativa nacional y municipal vigente sobre políticas, marco institucional y leyes referidas a los recursos hídricos. 2) Aplicación de encuestas a 48 miembros de juntas administradoras del agua y patronato de agua, y 241 a hogares (con los datos se hizo un análisis de frecuencias) para conocer las prácticas locales de cuidado del agua y nivel de cumplimiento de las normas.

### Capacidad de los actores locales para el manejo y gestión del agua.-

Se siguieron dos pasos. 1) Determinación de la capacidad de la municipalidad y de las juntas administradoras para cuidar y manejar el agua; se evaluó la estructura organizativa, acciones de planificación, recursos humanos y apoyo logístico. 2) Aplicación de diez encuestas y siete entrevistas a regidores, técnicos y personal clave de la alcaldía; además se participó en reuniones y talleres con las juntas de agua.

### Conflictos socio-ambientales relacionados con los recursos hídricos.-

Para precisar los conflictos se siguieron tres pasos. 1) Visita a la comunidad y observación partici-

pante de los procesos que suceden; diálogo con autoridades para conocer los conflictos en el tema agua y visita a las presas y fuentes de agua. 2) Recopilación de la documentación existente mediante una guía de notas y toma de fotografías de todos los casos observados; participación en reuniones de negociación entre las partes y las autoridades municipales. 3) Entrevista a doce miembros de las juntas administradoras de agua y a siete autoridades y personal clave de la municipalidad.

**Análisis de factores y actores que inciden en el manejo y gestión de los recursos hídricos.**- Se consideraron dos momentos y procesos de observación participante. 1) Análisis de la información generada en los tres componentes anteriores, la cual se complementó con entrevistas a representantes de diferentes organizaciones e instituciones locales para conocer factores y actores que están a favor o en contra de la protección al agua. 2) Participación en reuniones con la Corporación Municipal y el Consejo de Cuencas con la finalidad de recuperar y facilitar información oportuna para la toma de decisiones.

### Resultados y discusión

Los resultados del estudio permitieron identificar aquellos elementos claves para la gestión de los recursos hídricos en Valle de Ángeles.

**Normativa para el manejo y gestión de los recursos hídricos Marco político institucional relacionado con la gestión del agua.**- En Honduras el marco institucional para los recursos naturales ha experimentado cambios debido a la legislación promulgada. La política ambiental orienta las acciones para el manejo de estos recursos (SERNA 2005); sin embargo, no se cuenta con una política para el manejo y la gestión de los recursos hídricos (PAH 2004, Ferrera 2005, Angulo 2006),

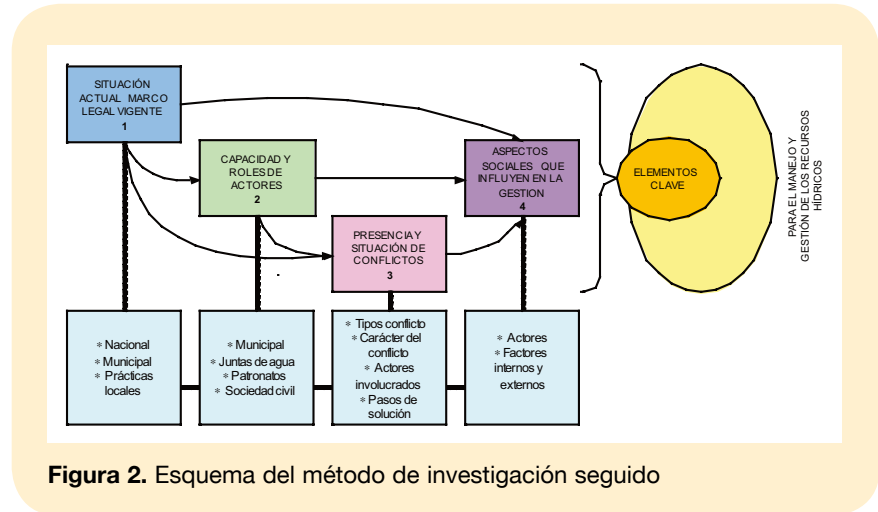


Figura 2. Esquema del método de investigación seguido

y la legislación e institucionalidad no están actualizadas ni son adecuadas (Angulo 2006), pero además el marco existente tiene dificultades para su cumplimiento por falta de instrumentos operativos.

Al menos 21 instancias públicas (centralizadas y autónomas) y privadas se relacionan con el manejo del agua; esto ocasiona gran duplicidad de funciones, dispersión de esfuerzos y descoordinación de acciones, inclusive al interior de una misma entidad. Existen instancias, como las Secretarías de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), de Gobernación y Justicia, de Agricultura y Ganadería (SAG) y de Salud, así como COHDEFOR (Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal), que no tienen capacidad operativa en el campo (Faustino 2003), lo cual limita su accionar en el ámbito municipal<sup>6</sup>.

Doce leyes del marco jurídico hondureño se relacionan con los recursos hídricos (Cuadro 1), y tres específicamente se orientan al uso del agua. La Ley de Aprovechamiento de Aguas Nacionales<sup>7</sup> establece, como usos prioritarios, el agua potable, el uso doméstico y el riego. El Código de Salud, por su parte, establece el consumo humano, el uso doméstico, la preservación de la

flora y de la fauna, y el uso agrícola y pecuario como prioridades. La Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento (Congreso Nacional 2005) está orientada exclusivamente a este sector. Por ley, las atribuciones de las instancias del Estado son diferenciadas, pero no son claras ni específicas para la gestión de los recursos hídricos. En algunos casos se dan responsabilidades individuales, aunque en otros, la responsabilidad es compartida entre dos o más organismos. Así por ejemplo, la Ley General del Ambiente otorga responsabilidad al SEDA y a la municipalidad para el manejo, protección y conservación de las cuencas y depósitos naturales de agua de manera conjunta y separadamente; la Dirección General de Recursos Hídricos es responsable de conducir los asuntos relacionados con la gestión de los recursos hídricos; la Ley Marco del Sector Agua Potable crea el Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento y el Ente Regulador, pero también menciona al Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillado y a las municipalidades como prestadores de servicios, lo que genera desencuentros en el caso de Valle de Ángeles (ver más detalles en Angulo 2006).

<sup>6</sup> Por ejemplo, COHDEFOR tiene un técnico asignado para apoyar en la verificación de árboles que serán cortados, pero solo viene un día a la semana.

<sup>7</sup> Modificada en 1932 y 1945; por su antigüedad, no responde al nuevo contexto nacional donde la competencia por el agua es cada vez mayor.

La Ley de Aguas Nacionales (Congreso Nacional 1927) establece que el agua es un bien de dominio público, independiente de la titularidad del predio en donde nacen o por donde discurren los cuerpos de agua (propiedad del recurso). Sin embargo, la ley reconoce algunas potestades al propietario dentro de los espacios de su propiedad, lo que a menudo causa problemas cuando se quiere impulsar una gestión integrada de los recursos hídricos. La PAH (Plataforma del Agua de Honduras) viene trabajando en una nueva Ley de Aguas<sup>8</sup>, la cual no ha sido aún aprobada.

**Normas para la administración del agua en el municipio.**- Al comparar el marco político institucional, se encontró que no existe correspondencia entre los ámbitos nacional y municipal (Cuadro 2). Valle de Ángeles no dispone de instrumentos normativos, lo que produce deficiencias en el trabajo sobre el agua; por otra parte, las competencias que le otorga la ley no son cumplidas. Se constató que la descentralización no es suficiente para que la municipalidad asuma responsabilidades (Congreso Nacional 2003). Las diez ordenanzas municipales encontradas no se refieren a la administración del agua, sino a sancionar los incendios forestales. El Plan de Arbitrios establece el pago por concepto de conexiones y su mal uso; este es más un instrumento para el cobro de las tasas, impuestos y contribuciones durante el año correspondiente.

Se encontraron prácticas dirigidas a proteger y cuidar el recurso agua: plantación de árboles, vigilancia a bosques y control de la tala, cercado de las fuentes y presas, rondas, control de incendios, limpieza y revisión del acueducto. Estas son prácticas no escritas que constituyen normas de conducta en las comunidades. A partir de ellas se

**Cuadro 1**

Leyes nacionales relacionadas con la gestión de los recursos hídricos en Honduras

Nombre	Decreto No.	Fecha
Ley de aprovechamiento de aguas nacionales	137	9/04/1927
Ley forestal	85	10/02/1972
Ley de reforma agraria y otras disposiciones	170	30/12/1974
Ley de municipalidades	134-90	7/11/1990
Ley del código de salud	65-91	6/08/1991
Ley para la modernización y el desarrollo del sector agrícola	31-92	19/03/1992
Ley general del ambiente	104-93	8/06/1993
Ley de incentivos a la forestación, reforestación y a la protección del bosque	163-93	22/09/1993
Ley para el desarrollo rural sostenible	12-2000	30/03/2000
Ley de la procuraduría del medio ambiente y recursos naturales	134-99	17/09/1999
Ley marco del sector agua potable y saneamiento	118-2003	29/09/2003
Ley de ordenamiento territorial	180-2003	28/11/2003

**Cuadro 2**

Marco político institucional relacionado con el tema agua en Honduras

Ámbito	Situación del Municipio
Políticas	No existe una política local.
Marco legal / normativo	No cuenta con una norma local que regule el uso del agua. El Plan de Arbitrios es una norma destinada al pago de impuestos y tasas. Las ordenanzas municipales están orientadas a cuidar los bosques. Algunos puntos del Plan de Arbitrios son ejecutados en coordinación con COHDEFOR.
Marco institucional	La municipalidad no tiene una instancia que se ocupe del manejo y cuidado de los recursos hídricos en todo el ámbito municipal. La UMA es débil en su operatividad y tiene poca vinculación con el tema hídrico. El tema agua es potestad de tres organismos. El sistema de agua potable es manejado por fontaneros y juntas administradoras.

podría estructurar un mecanismo de protección y aprovechamiento del agua; por ello, es vital potenciarlas y adecuarlas a nuevas circunstancias del entorno mayor (Prins 2005).

La mayoría de las presas y tomas de agua administradas por las juntas de agua no cumplen con las normas establecidas por la Ley Forestal en cuanto a la protección

de las infraestructuras y áreas circundantes. De los 22 sistemas de agua potable<sup>9</sup>, el 50% se ubican fuera del Parque Nacional La Tigra; de estos el 64% no están cercados, el 32% presentan cultivos arriba de la presa, el 52% no tienen protegida el área circundante a la fuente y el 67% no tienen protegidos los bosques ribereños (Cuadro 3).

<sup>8</sup> La nueva ley está orientada a la Gestión Integrada del Recurso Hídrico; propone proyectos multipropósito y considera a la cuenca y acuíferos como unidad de gestión (Kawas 2005).

<sup>9</sup> Ver una descripción de cada sistema en Reyes (2006).



Capacidad de los actores locales para el manejo y gestión del agua. La municipalidad y las organizaciones locales no se encuentran preparadas para asumir una responsabilidad mayor por problemas de capacidad y organización. Según la GIRH (Gestión Integrada del Recurso Hídrico), en Valle de Ángeles se debe trabajar mucho

para lograr un ambiente propicio, un marco institucional adecuado y la implementación de herramientas de gestión (GWP 2000). Con este estudio se determinaron dos actores principales para el manejo del agua: la municipalidad y las juntas administradoras de agua<sup>10</sup>. No obstante, la municipalidad tiene debilidades financieras, técnicas y logísticas que

dificultan la buena administración del sistema de agua potable. Por ejemplo, los tanques y tuberías de conducción en el área urbana tienen serios problemas, los que fueron corroborados con un estudio sobre calidad de agua (Reyes 2006).

El mayor potencial de la municipalidad es su capital humano (Fig. 3); en total hay diez personas (entre

**Cuadro 3**

Aplicación de las normas sobre presa/tomas en cursos de agua permanente

No.	Acueducto / fuente	Ubicación	Acciones en las presas		Acciones de protección		
			Cercado	Actividades agropecuarias arriba de la presa	Protección de vegetación 250 m alrededor de la fuente	Protección de vegetación a 150 m a ambos lados de cursos permanentes	Protección del curso de agua hasta 100 m debajo de la presa
1	Guanacaste	Pc	No	no	Si	No	No
2	Jocomico	Pp	No	Sí	No	No	No
3	Guayabo	Pc	No	No	Sí	No	No
4	Sabaneta	Pc	No	No	No	No	No
5	Chiquistepe	Pc	Si	Si	No	No	No
6	Chinacla	Ej	No	No	No	Sí	Sí
7	El Portillo	LT	n/c	No	Si	No	No
8	El Liquidámbar	LT	n/c	No	Si	No	No
9	El Catón	LT	n/c	No	Si	Sí	Sí
10	Bordo Las Martitas	Pp	n/c	No	Si	Sí	Sí
11	La Esperanza	Pp	Sí	Sí	Si	No	No
12	Los Lirios	LT	n/c	No	n/c	n/c	n/c
13	La Escondida	LT	n/c	No	No	No	No
14	El Molino	LT	No	No	No	No	No
15	Chaguitillo	LT	n/c	Sí	No	Sí	Sí
16	Cerro grande	LT	n/c	No	Si	Sí	Sí
17	Quebrada Onda	LT	n/c	No	Si	Sí	Sí
18	San Francisco	Ej	Si	Si	No*	No	No
19	El Suizo	Ej	No	Si	No	No	No
20	Las Martitas	Pp	Sí	Sí	No	No	No
21	EL Tablón	LT	n/c	No	No	No	No
22	La Simbra	LT	n/c	No	Si	Sí	Sí

Pc= Propiedad comunal Pp= propiedad privada  
LT= Parque Nacional La Tigra Ej= Propiedad ejidal  
n/c = no aplica

\* El acueducto San Francisco tiene protegida la parte derecha del área de influencia.

<sup>10</sup> También está el SANAA que administra el sistema de agua en una de las aldeas.

técnicos y autoridades) con nivel educativo medio que pueden apoyar las acciones de manejo y administración del agua (todos conocen del tema), si se les ofrece capacitación en aspectos de gestión del recurso. Se debe aprovechar la voluntad política del gobierno municipal actual que está empeñado en realizar una buena gestión del agua.

La UMA (Unidad Municipal Ambiental) es la encargada de dar mantenimiento al sistema de agua potable (fontaneros), pero los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario dependen del Jefe de Justicia Municipal; es decir que no existe un departamento específico con funciones exclusivas para administrar los servicios de agua potable y saneamiento. Esto no va en consonancia con el principio del agua que recomienda que exista una sola institución encargada de todos los aspectos normativos asociados al agua, con el objetivo de lograr una administración más eficiente (CONAGUA 2006). Sin embargo, esto pudiera lograrse sin mucho problema porque la ley otorga a la municipalidad la potestad de crear las instancias que crea convenientes.

La municipalidad tiene la responsabilidad de organizar su estructura interna y las acciones que se den en su territorio. La encuesta a los hogares corroboró tal percepción; según los encuestados, la municipalidad (29%) y la comunidad (51%) son los responsables de proteger las fuentes de agua. No obstante, le corresponde a la municipalidad conducir el trabajo coordinado entre las instituciones.

Las juntas administradoras de agua (18 en el municipio) son actores fundamentales porque tienen presencia en la sociedad y cuentan con un capital humano capaz de asumir responsabilidades (la mayoría sabe leer y escribir). Son estructuras reconocidas por el Estado y las leyes, lo que les permite actuar



Foto: Oscar Angulo.

**Figura 3.** Gira de campo con autoridades locales para conocer las zonas de recarga hídrica

en el municipio y buscar un manejo adecuado del agua. Entre las debilidades detectadas en la administración de los sistemas de agua potable por parte de las juntas están la falta de capacidad técnica, financiera y logística; en 11 casos se detectaron problemas al interior de la organización (la asamblea no se reúne).

Otros actores locales son el patronato, los productores agrícolas y la sociedad civil. El patronato tiene una participación pasiva en el tema agua, aunque en dos comunidades el sistema de agua está a cargo de esa organización. En años recientes su capacidad de convocatoria bajó (AMITIGRA 2005) y ha perdido fuerza (entrevista). En cuanto a los productores agrícolas, hay dos tipos de usos que inciden en el manejo del agua: 1) aquellos que amplían la frontera agrícola en desmedro de las zonas de recarga hídrica o contaminan el agua de la presa con el uso de agroquímicos, y 2) los que utilizan el agua para riego. Estos últimos utilizan el agua a través de mangueras conectadas en la misma

fuentes de agua, o aguas abajo de las presas<sup>11</sup>. Por último, la sociedad civil no tiene capacidad de convocatoria y no alcanzó la representatividad del caso; sin embargo, otros actores – como los restaurantes – podrían ser aliados potenciales para implementar medidas de conservación del agua.

### Conflictos socio-ambientales relacionados con los recursos hídricos

La existencia de conflictos relacionados con el agua se debe a la poca importancia que las autoridades locales han dado a las zonas productoras de agua. La falta de instituciones que regulen y eviten estas situaciones han provocado un crecimiento urbano descontrolado (que en algunos casos afecta a las zonas productoras de agua), la ampliación de la frontera agrícola en zonas donde no se debe (Fig. 4) y la extracción de madera en detrimento del recurso agua. Hasta el momento no existen estudios sobre ordenamiento territorial y zonificación de áreas urbanas. Asimismo,

<sup>11</sup> En Buena Vista los productores se abastecen de agua para consumo humano y riego a través de mangueras y no presentan conflictos, no disponen de sistema de agua y tampoco muestran interés por tenerlo.

hay situaciones conflictivas en zonas donde se ubican las fuentes y/o las presas de agua.

De los 22 sistemas, 12 presentan algún tipo conflicto (Cuadro 4). Se detectaron seis tipos de conflictos: por el uso del suelo, por la propiedad de la fuente de agua, por el acceso a la fuente, por la calidad del agua, por la disponibilidad del recurso y por problemas de deforestación. Esto permitió visualizar aquellos casos que requieren una atención inmediata, y que representan casos/ejemplos importantes para definir elementos que permitan un buen manejo y administración del agua (ver Angulo 2006).

**Actores involucrados.-** Los usuarios de agua y las autoridades de Valle de Ángeles son los principales actores involucrados en estas situaciones, pero también aparecen actores externos al municipio. Donde se da la ampliación de la frontera agrícola, los involucrados son los productores y los usuarios del agua. Los usuarios del área urbana no tienen una representación viva como consumidores, sino que la municipalidad (administradora del servicio) asume ese rol. Esto trae en consecuencia que no se de un reclamo oportuno y que los actores no se apropien del conflicto. Otros involucrados son una persona particular con poder económico, una comunidad y un productor de otra comunidad. Cuando las personas o comunidades involucradas son del mismo municipio no suceden problemas mayores.

**Procesos de solución de situaciones conflictivas.-** En el área se dan tres maneras diferentes de abordar y solucionar las situaciones conflictivas: por medidas restrictivas, por negociación y mediación y por la vía judicial (Cuadro 5).

**Leyes relacionadas con los conflictos.-** Dos leyes permiten solucionar conflictos relacionados con los recursos naturales. La Ley PARN (Procuraduría del Ambiente y Recursos Naturales) creó la

**Cuadro 4**  
Acueductos que presentan situaciones conflictivas en torno al agua

No.	Acueducto	Inicio de actividades	Ubicación de la fuente	Observaciones
1	Jocomico	2005	Pp	Conflicto de uso del suelo y calidad del agua
2	Chiquistepe	1994	Pc	Conflicto de propiedad de la fuente
3	Bordo Las Martitas	2005	Pp	Conflicto de acceso al agua
4	La Esperanza	1998	Pp	Problema de disponibilidad de agua
5	Los Lirios	2000	LT	Problema de disponibilidad de agua
6	La Escondida	1996	LT	Problema de deforestación
7	El Molino	2001	LT	Problema de calidad de agua
8	Chaguitillo	1992	LT	Problema de disponibilidad de agua
9	San Francisco	1960	Ej	Conflicto de uso del suelo
10	El Suizo	Sin dato	Ej	Problema de deforestación
11	Las Martitas	Sin dato	Pp	Conflicto de uso del suelo y calidad del agua
12	EL Tablón	Sin dato	LT	Problema de deforestación

Pc= Propiedad comunal  
Pp = Propiedad privada  
LT = Parque Nacional La Tigra  
Ej = Propiedad ejidal

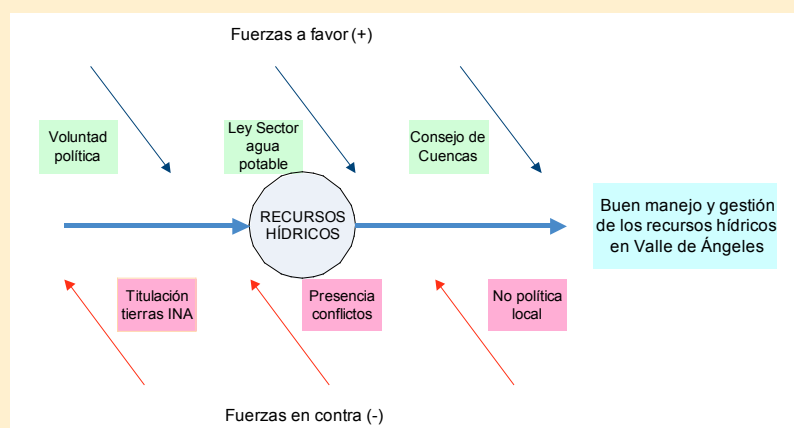


**Figura 4.** Ampliación de la frontera agrícola en áreas por encima de la presa Las Martitas

Foto: Oscar Angulo.

**Cuadro 5**  
Maneras para abordar las situaciones conflictivas presentes en Valle de Ángeles

Tipo de abordaje	Descripción
Medidas restrictivas	La fuente de agua se ubica en terrenos públicos; se dan problemas de contaminación. Se protegió la presa y parte de la zona con postes y alambre para controlar la deforestación y contaminación.
Negociación y mediación (positivo)	El problema era la propiedad de la fuente de agua. Inicialmente las partes se encontraban enfrentadas, pero recurrieron a las autoridades de la municipalidad para que sirvieran de mediadores. Los involucrados se reunieron repetidamente para negociar. Se garantizó el consumo de agua a la población.
Por la vía judicial (negativo)	Este proceso toma mucho tiempo y es muy perjudicial para la comunidad. Se observó desconocimiento de estos casos por parte de autoridades nacionales y municipales, lo que ocasionó dilación y reducción de las arcas de la comunidad (los costos de transacción son muy elevados).



**Figura 5.** Correlación de fuerzas sociales para el manejo y gestión del agua

Procuraduría con representación legal exclusiva de los intereses del Estado en materia de medio ambiente y recursos naturales. La Ley Marco del Sector Agua Potable creó el Ente Regulador, cuya atribución es conciliar –o en su defecto, arbitrar– los conflictos que se susciten. Ninguna de estas leyes, ni la Ley de Municipalidades, menciona los procedimientos para la solución de conflictos socio-ambientales como los que se han dado en Valle de Ángeles. Es decir que no existe orientación para abordar los conflictos, ni se sabe cuáles son los pasos que se deben seguir para la solución. Esto confirma la necesidad y urgencia de elaborar normas locales.

Por otra parte, existen experiencias comunales de solución de conflictos que pueden servir para afrontar estas situaciones y definir reglas del juego<sup>12</sup>. Por ejemplo, entre dos comunidades vecinas pero de diferentes municipios se dio un conflicto por el acceso al agua y la construcción de una presa en la misma quebrada, el cual se solucionó cuando se pusieron de acuerdo y construyeron una sola presa para ambos y actualmente se reparten el agua. En ese caso hubo negociación y mediación de las autoridades de ambos municipios.

Otro ejemplo es el barrio La Esperanza, que tuvo problemas de contaminación del agua con produc-

tos químicos, el cual se solucionó con la mediación de la Alcaldía que emitió una resolución para que en dicha zona no se cultive con agroquímicos. Un acta de compromisos se firmó entre las partes.

### Factores y actores que inciden en el manejo y gestión de los recursos hídricos

En Valle de Ángeles se encontraron fuerzas sociales a favor (positivas) y en contra (negativas) del manejo y gestión de los recursos hídricos (Fig. 5); asimismo, hay fuerzas internas y externas que influyen en la dinámica local del manejo del agua. Se observó que la expresión de una voluntad política y la presencia del Consejo de Cuencas inciden favorablemente en la protección del agua (Consejo de Cuencas 2005). La Ley del Sector Agua Potable y Saneamiento establece reglas para el manejo del sector, lo que contribuye a la gestión del agua.

Entre las fuerzas negativas están el no contar con una política local y la presencia de conflictos. La titulación de tierras por el Instituto Nacional Agrario (INA) se puede ver como una fuerza externa pues este proceso no contó con la participación de la municipalidad, pero ha influido en la delimitación de las zonas de recarga hídrica. La presencia de fuerzas negativas debe considerarse como una oportunidad para el cambio. Esto se reflejó con la actitud expresada por un propietario de tierras, que en un principio tenía planificado construir edificaciones en sus parcelas (ubicadas en zonas de influencia de las fuentes de agua) y cambió de idea para producir árboles frutales bajo un sistema agroforestal. Las fuerzas sociales negativas se vuelven positivas.

La presencia de conflictos sobre el agua (conflictos de uso del suelo, acceso al agua, contaminación del agua, entre otros) es otro factor que incide en la gestión del recurso. Este es el caso del Bordo de Las Martitas.

<sup>12</sup> Ver, por ejemplo, el caso del bosque La Azulera (Prins 2005).

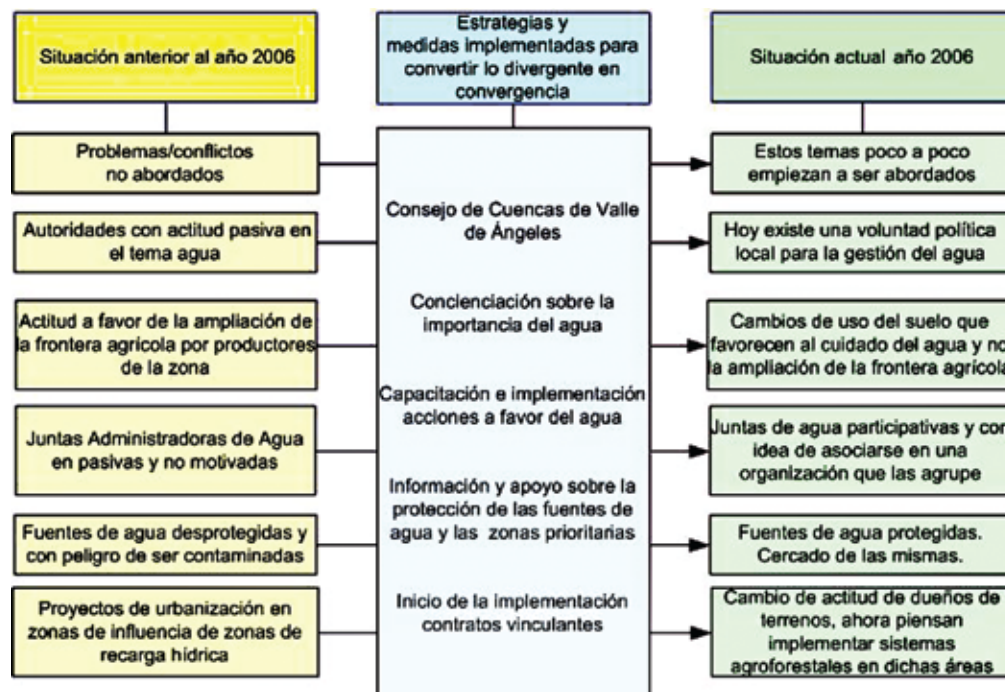


Figura 6. Escenarios cambiantes en el tiempo

### Implementación de medidas y estrategias en procesos cambiantes.-

En el tiempo ocurren cambios en las situaciones negativas, lo que indica que los escenarios no son estáticos ni lineales sino cambiantes y con altibajos. Se observó cómo estos factores negativos cambian a factores positivos, como producto de la implementación de algunas estrategias y medidas (Fig. 6). Un elemento importante en esta dinámica es la presencia del Consejo de Cuencas, espacio que permitió abordar algunas situaciones problemáticas y conflictivas. En el caso de los cambios de uso del suelo hubo arreglos institucionales – los contratos vinculantes – que han permitido que de la divergencia se pase a una convergencia para cuidar del agua. Asimismo, con el actuar de las juntas administradoras de agua se está formando una masa crítica a favor del buen manejo del recurso.

El factor de cambio más importante es que muchas fuerzas sociales anteriormente dispersas empiezan a aglutinarse en torno a un interés y una visión compartida. Esto se expresa en el trabajo con las juntas de agua<sup>13</sup>, la lenta pero creciente alianza entre grupos de productores y juntas de agua<sup>14</sup>, la sinergia entre la municipalidad y el Consejo de Cuenca, y la representación de diversas fuerzas sociales dentro del Consejo.

Otros factores son la combinación e integración de estrategias, mecanismos y convenios, los cuales permitieron garantizar la protección de los recursos hídricos. Entre esas estrategias están los incentivos y tecnologías de usos alternativos del suelo (frutos de altura), formas diversas de compensación (contratos vinculantes), acercamiento y diálogo con grupos de productores, ordenamiento y regulación del uso del suelo

(servidumbre ecológica, ordenanza de vocación forestal y producción de agua de la zona de San Francisco; plan de ordenamiento territorial), aplicación de legislación pertinente, mediación en conflictos a través de arreglos consensuados -o sea, creando institucionalidad y gobernabilidad- y campañas de información al público, entre otras.

Si bien este es un proceso arduo y lento, en un contexto difícil y *sui generis* como el de Valle de Ángeles y los mecanismos implementados son aún incipientes y con desarrollo diferente, es claro que se están dando pasos certeros, correctos y coadyuvantes en la dirección deseada.

### Conclusiones

El estudio encontró elementos claves que se deben considerar a la hora de fortalecer las actividades iniciadas en pos de un manejo y buena gestión del agua en Valle de Ángeles.

<sup>13</sup> En la primera fase de Focuecas se trabajó poco con estos actores.

<sup>14</sup> Alianza estimulada entre otros, vía los contratos vinculantes que se firmaron entre productores y el Consejo de Cuencas.

- 1) El municipio no cuenta con una política local del agua ni con ordenanzas municipales respectivas; sin embargo, existen leyes nacionales y sectoriales que pueden servir como instrumentos para orientar la elaboración de esas normas.
- 2) Las comunidades realizan algunas prácticas para proteger y aprovechar bien el agua; estas deben servir como instrumentos para elaborar ordenanzas municipales.
- 3) La municipalidad no cuenta con un departamento del agua para todo el territorio, pero sí tiene la UMA, a los fontaneros y al técnico del proyecto de agua potable (para el área urbana); estas tres instancias deberían estructurarse en un solo departamento.
- 4) Con el trabajo conjunto entre la municipalidad y el Consejo de Cuencas se logró establecer algunas estrategias y medidas que permitieron cambiar los *factores negativos a factores a favor* de la protección y buen


aprovechamiento del agua; tales medidas deben fortalecerse.

- 5) La presencia del Consejo de Cuencas y las juntas administradoras de agua es vital para la gestión del agua; estos organismos deben ser fortalecidos para trabajar de manera conjunta con la municipalidad.
- 6) La presencia de conflictos es el resultado de la falta de normas para abordar situaciones problemáticas; sin embargo, hay experiencias que pueden aportar lecciones importantes para futuros casos.

### Recomendaciones

- 1) Es urgente realizar una reestructuración de la estructura organizativa de la municipalidad, con la finalidad de crear e implementar un departamento del agua.
- 2) La elaboración de una política municipal del agua y las ordenanzas municipales respectivas son otra necesidad urgente. La política

debe considerar el agua para riego y para mantener el ecosistema, pero la prioridad número uno debe ser el agua para consumo humano.

- 3) Es urgente desarrollar instrumentos normativos (ordenanzas municipales) que protejan las zonas productoras de agua, y que en las mismas se garantice el uso adecuado de los suelos.
- 4) La municipalidad y el Consejo de Cuencas deben promover acciones que involucren la participación de todas las organizaciones locales y las instituciones que tienen presencia en el municipio y que trabajan en el tema agua.
- 5) Es necesario institucionalizar el Consejo de Cuencas y mancomunar las juntas administradoras de agua en una Asociación de Juntas de Agua.
- 6) La municipalidad y el Consejo de Cuencas deben abocarse a la elaboración de un Plan de Acción para fortalecer el manejo y la gestión del agua. 

### Literatura consultada

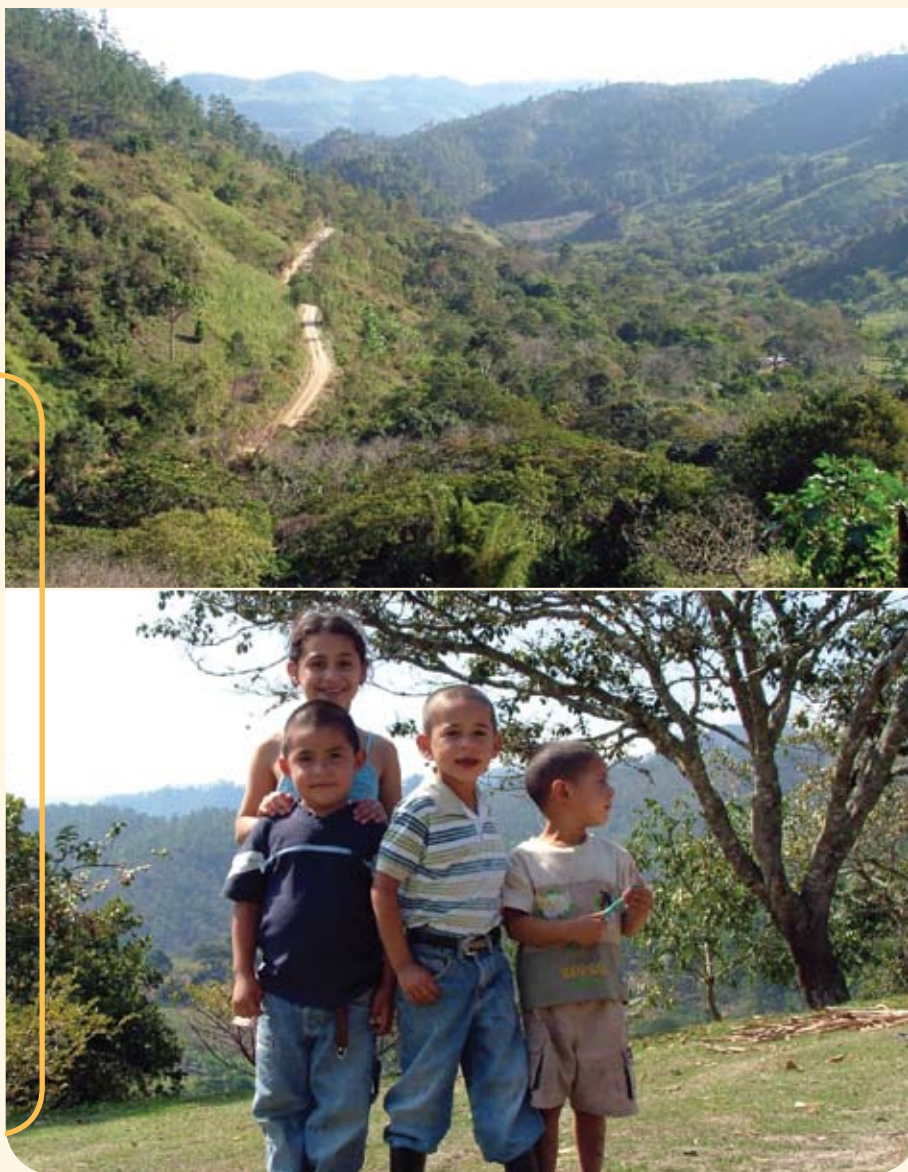
- AMITIGRA (Fundación Amigos del Parque Nacional La Tigra). 2005. Plan de manejo Parque Nacional La Tigra. Tegucigalpa, HN. 167 p.
- Angulo, O. 2006. Gobernabilidad e institucionalidad para la gestión, protección y aprovechamiento del agua en el Municipio de Valle de Ángeles, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 156 p.
- Ballester, M. 2001. Crisis del agua: gobernabilidad. Ambientico (CR) No. 104. Consultado 14 nov. 2005. <http://www.una.ac.cr/ambi/Ambientico/104/index.htm>.
- Castro, R; Monge, E; Rocha, C; Rodríguez, H. 2004. Gestión local y participativa del recurso hídrico en Costa Rica. San José, CR, CEDARENA. 71 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2004. Programa innovación, aprendizaje y comunicación para la cogestión adaptativa de cuencas. Turrialba, CR, FOCUENCAS II. 37 p.
- Colom, E. 2002. Situación de los recursos hídricos en países del istmo americano. Taller Regional con Legisladores Centroamericanos. Red de Comunicadores Honduras de la GWP Centroamérica. 154 p. Consultado 23 nov. 2005. <http://www.gwpcentroamerica.org/gwp/tallerescdocumento.htm?articulo=talleresc/tallerparlam2002estartleghidrica.pdf>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua de México). 2006. Los 20 principios del agua: planteamientos de la Comisión Nacional del Agua de México para la comunidad internacional. 7 p.
- Congreso Nacional de la República, HN. 1927. Ley de aprovechamiento de aguas nacionales. Consultado 20 jul. 2006. <http://www.ccad.ws/documentos/legislacion/HN/DL-137.pdf>
- \_\_\_\_\_. 2003. Ley de municipalidades y su reglamento. Tegucigalpa, HN, Guaymurás. 3 ed. 195 p.
- \_\_\_\_\_. 2005. Ley marco del sector agua potable y saneamiento. Tegucigalpa, HN, Casa Blanca. 56 p.
- Consejo de Cuencas del río La Soledad. 2005. Plan de co-gestión de la subcuenca La Soledad. Valle de Ángeles, HN. 79 p.
- Faustino, J. 2003. El marco institucional para el manejo de cuencas: una contribución de FOCUENCAS. Tegucigalpa, HN. 12 p.
- Ferrera, I. 2005. Análisis del marco político-legal sobre recursos hídricos en Honduras: coherencias y percepciones. Tegucigalpa, HN, Zamorano - Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. 73 p.
- PAH (Plataforma del Agua, HN). 2004. Presentación de la experiencia de la plataforma de agua Honduras. Tegucigalpa, HN. Consultado 9 nov. 2005. [www.plataformadelagua.un.hn](http://www.plataformadelagua.un.hn)
- GWP (Global Water Partnership). 2000. Manejo integrado de recursos hídricos. Estocolmo, SE. Consultado 23 nov. 2005. <http://www.gwpcentroamerica.org/gwp/tacdocumento.htm?articulo=tac/Tac4.pdf>
- Kawas, N. 2005. Ley general del agua de Honduras. Plataforma del agua de Honduras. Consultado 18 nov. 2006. [http://resweb.llu.edu/rford/courses/ESSC5xx/docs/ley\\_general.pdf](http://resweb.llu.edu/rford/courses/ESSC5xx/docs/ley_general.pdf)
- Prins, C. 2005. Procesos de innovación rural en América Central: reflexiones y aprendizajes. Turrialba, CR, CATIE. 244 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 337).
- Reyes, K. 2006. Análisis del estado de las fuentes de agua para consumo humano y funcionamiento de los acueductos rurales en la cuenca del río La Soledad, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 227 p.
- SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente). 2005. Política ambiental de Honduras. Tegucigalpa, HN, SERNA. 19 p.
- Van Hofwegen, P; Jaspers, F. 2000. Marco analítico para el manejo integrado de recursos hídricos; lineamientos para la evaluación de marcos institucionales. Consultado 26 oct. 2005. Washington DC, BID. 92 p. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=354351>

# Creación de institucionalidad para el manejo de la subcuenca del río Copán, Honduras

## Análisis de procesos recientes<sup>1</sup>

Francisco Baldizón Reyes<sup>2</sup>;  
Jorge Faustino<sup>3</sup>; Francisco Jiménez<sup>4</sup>

Los procesos de institucionalidad dentro de la subcuenca están avanzando. Sin embargo, para que este proceso sea exitoso debe haber mayor acompañamiento por parte de las autoridades y organizaciones (nacionales e internacionales) que operan en el área. Se debe poner especial atención al trabajo con los comités ambientales de microcuenca.



Fotos: Francisco Baldizón.

<sup>1</sup> Basado en Baldizón, J. 2006. Análisis de los procesos de institucionalidad para el manejo de la subcuenca del río Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 107 p.  
<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo Integrado de Cuencas, CATIE. baldizon@catie.ac.cr  
<sup>3</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. faustino@catie.ac.cr  
<sup>4</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

## Resumen

Se realizó un análisis participativo sobre la situación de la institucionalidad para el manejo de la subcuenca del río Copán, Honduras. En este análisis se incluyó el nivel institucional de base en la subcuenca representado por los comités ambientales de microcuenca (CAM); el nivel medio, representado por la Mesa Sectorial de Ambiente y Producción (MESAP); el nivel local superior, representado por la mancomunidad de municipios (MANCORSARIC) y el nivel de gobierno central, representado por instituciones nacionales con presencia en la zona. Los resultados indican que existe poco empoderamiento y conocimiento de la sociedad civil en cuanto al papel de la MANCORSARIC y los CAM debido a la ejecución limitada de acciones, falta de recursos económicos y poca comunicación. Asimismo, se detectó un bajo nivel de cooperación y participación de las instituciones nacionales con la MANCORSARIC. En el sector institucional, el CATIE y el Proyecto Norte son los principales entes que colaboran, en materia ambiental, con la Mancomunidad. Se debe resaltar el papel de la MESAP, la cual integra a todas las organizaciones que ejecutan proyectos en la subcuenca. La creación de la MESAP y los CAM abren el camino para el trabajo con un enfoque de cuencas en la zona; por ello se debe seguir apoyando su consolidación y sostenibilidad económica y administrativa.

**Palabras claves:** Cuencas hidrográficas; manejo de cuencas; ordenación de aguas; recursos hídricos; gestión; legislación; río Copán; Honduras.

## Summary

### **Institutional analysis of management processes in the Copan river subwatershed.**

A participatory analysis was carried out to identify the current situation of institutional involvement in the Copan river subwatershed management. This analysis included stakeholders at different levels: the base level represented by the Microwatershed Environmental Committees (CAM), the middle level represented by the Environmental and Production Work Stand (MESAP), the high level represented by the Community of the Copan river municipalities (MANCORSARIC) and the Central Government level represented by national institutions working within the region. The results showed the lack of knowledge and empowerment from civil society to MANCORSARIC and CAMs due to the weakness of actions, lack of financial resources, and poor communication among stakeholders and civil society. Similarly, cooperation and participation of national institutions towards MANCORSARIC is almost nonexistent. CATIE and Proyecto Norte de Copán were pointed as the main organizations that collaborate, in environmental issues, with MANCORSARIC. MESAP –the reunion of organizations working with environmental projects in the area- has an increasingly important role. MESAP and CAMs have set the basis for the implementation of real work focused on the watershed; thus, it is necessary to support them economically and administratively to guarantee their sustainability.

**Keywords:** Watershed; watershed management; water management; hydric resources; management; legislation; Copan river; Honduras.



## Introducción

El paso del huracán Mitch por América Central en octubre de 1998 dejó, además de cuantiosos daños y pérdidas de vidas humanas, infraestructura y servicios, evidencia del alto grado de vulnerabilidad en las cuencas. Tal es el caso de la subcuenca del río Copán en Honduras. A principios de 1999 surgió la idea de formar una mancomunidad de los municipios con influencia en el territorio de esa subcuenca para impulsar procesos de desarrollo, inicialmente con énfasis en el manejo de los recursos naturales (MANCORSARIC 2003). En mayo de 1999 se constituyó oficialmente la mancomunidad formada por los municipios de Copán Ruinas, Santa Rita y Cabañas (MANCORSARIC); posteriormente se integró el municipio de San Jerónimo, ubicado en la parte alta de la subcuenca del río Copán, por lo que tiene una cuota importante de responsabilidad en la protección y manejo de los recursos. En cada uno de estos municipios se estableció una microcuenca modelo manejada por un comité ambiental de microcuenca (CAM), encargado de velar por el manejo de los recursos naturales en ese espacio territorial (MANCORSARIC 2003).

De acuerdo con los enfoques de gestión conjunta y colaborativa de cuencas hidrográficas (cogestión), la creación de institucionalidad surge como una necesidad para la organización y la gobernanza de estos espacios de gestión territorial. Los organismos de cuencas son entidades administrativas y operativas para la gestión sostenible de la cuenca hidrográfica, organizada con la participación interinstitucional, municipal y representativa de los actores claves que tienen responsabilidades e intereses, o que actúan en una cuenca (Faustino y Jiménez 2005).

Este estudio pretende realizar un análisis de la situación actual del comité rector de la subcuenca del río

Copán, poniendo especial énfasis en las organizaciones de base (CAM) y su referente a nivel de subcuenca (MANCORSARIC). Además, se escudriña el nivel nacional para analizar las políticas de desarrollo que se dan a nivel del país y de la región, en relación con el recurso hídrico. La investigación se guió por directrices que norman el funcionamiento de un organismo de cuencas; sin embargo, se debe resaltar que la MANCORSARIC, por su configuración municipal y funcionamiento mancomunado por medio de mesas sectoriales, no constituye un comité de cuencas convencional como los que generalmente se mencionan en la literatura.

## Metodología

### El área de estudio

La investigación se realizó en la subcuenca del río Copán localizada en el departamento de Copán, occidente de Honduras. La subcuenca pertenece a la cuenca alta del río Motagua, que sirve de línea fronteriza entre Guatemala y Honduras (Otero 2002, CATIE 2004) y abarca la totalidad del territorio de los municipios de Santa Rita y Cabañas, parte central de Copán Ruinas y parte de Concepción, San Agustín, Paraíso, La Unión y San Jerónimo (Fig. 1). Su extensión es de 619 km<sup>2</sup>.

### Métodos

Las técnicas utilizadas para generar información se escogieron con base en criterios de aplicabilidad y generación de información. Así, se seleccionaron instrumentos de fácil ejecución en el campo y de fácil comprensión por parte de los entrevistados pero que, a la vez, generaran suficiente información para hacer un análisis amplio de la situación de la subcuenca. Una primera herramienta fueron las entrevistas semiestructuradas a los miembros de la sociedad civil, de los CAM y de la MANCORSARIC. En estas entrevistas se analizó el funcionamiento,

operativización, empoderamiento y organización de la mancomunidad al nivel de microcuencas. En total se realizaron 189 entrevistas: 50 con miembros de la sociedad civil de cada microcuenca de estudio (excepto en Cabañas, donde aún no se tiene el CAM), ocho con los miembros de los CAM de cada microcuenca y 15 entrevistas con actores claves.

Para corroborar la información obtenida con las entrevistas, se realizó un taller RDA (revisión después de la acción) con miembros de la sociedad civil y de los CAM de cada microcuenca. Los análisis RDA son fáciles de realizar en el campo y permiten revisar la situación después de la acción; es decir, hacer un alto en el camino para ver qué está funcionando bien y dónde no se está cumpliendo con los objetivos y expectativas para corregir errores y seguir adelante (Faul y Camacho 2004). También se realizó un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas) con el personal que labora en la Unidad Técnica Intermunicipal; esta unidad es el brazo ejecutor de la MANCORSARIC.

Mediante la revisión y análisis del marco legal y político se determinó qué políticas y leyes sustentan las acciones de MANCORSARIC y hasta dónde permiten un manejo adecuado de la subcuenca. También se analizó el plan estratégico y la sistematización de procesos y experiencias en la conformación y funcionamiento de la mancomunidad. La asistencia a reuniones, talleres y sesiones ayudó a dar seguimiento al proceso de establecimiento y conformación de la Mesa Sectorial de Producción y Ambiente (MESAP). Esta mesa sectorial es el mecanismo por medio del cual se integran las asociaciones gubernamentales y no gubernamentales que trabajan en proyectos enfocados en la producción y medio ambiente de la zona; fue creada para conformar una alianza colaborativa entre instituciones

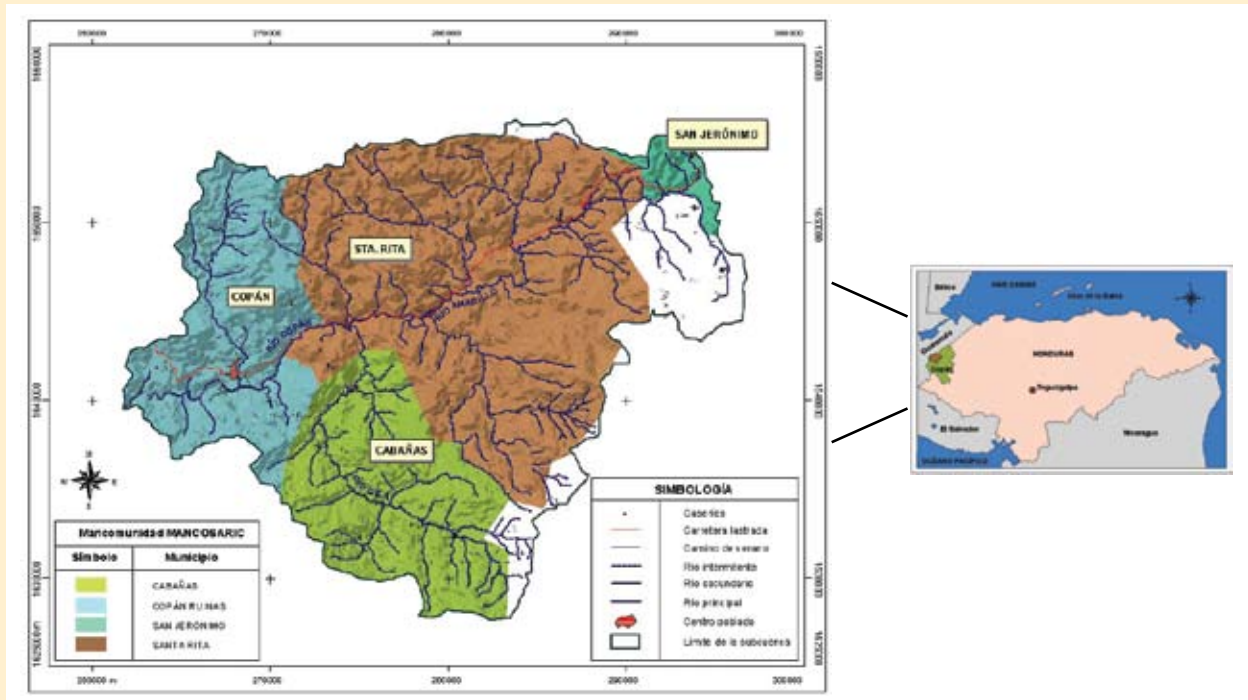


Figura 1. Mapa de ubicación de la subcuenca del río Copán, Honduras (Guillén 2002)

para optimizar el uso de los recursos y disminuir gastos en los proyectos ambientales realizados dentro de la subcuenca. Durante este periodo también se le dio acompañamiento a la conformación del marco operativo, reglamentación y primer plan de trabajo mensual a ser ejecutado por los integrantes de la mesa.

Para determinar qué organizaciones tienen mayor incidencia en el funcionamiento de MANCORSARIC y cómo la visualizan sus miembros, se realizó un análisis organizacional/institucional por medio de diagramas de Venn (Geilfus 2002). En esta actividad participaron funcionarios de la MANCORSARIC y del CATIE. El análisis de la información obtenida se realizó por medio de tablas de frecuencia y gráficos generados con INFOSTAT versión 2006. Para el análisis estadístico de los parámetros medidos en cada microcuenca se aplicaron pruebas de Chi cuadrado utilizando el programa estadístico SAS.

## Resultados y discusión

### Funcionamiento de la MANCORSARIC

Los resultados obtenidos muestran que la sociedad civil tiene poco conocimiento acerca de la Mancomunidad. De la muestra de personas entrevistadas en las microcuencas, el 61% no sabían qué es la MANCORSARIC; asimismo, el 70% de los entrevistados no tenía conocimiento sobre las acciones realizadas por esta organización en la zona. Esta situación se debe a la falta de campañas publicitarias y de socialización para dar a conocer el trabajo realizado por la MANCORSARIC. Incide, además, la forma de ejecución a través de las municipalidades sin especificar que se trata de proyectos gestionados mancomunadamente.

Actualmente las funciones de la MANCORSARIC, como comité de cuencas, se limitan a unas pocas acciones técnicas y de logística para protección de los recursos naturales,

realizadas por organizaciones no gubernamentales y otras instituciones lideradas por el CATIE. Otero (2002) y CEPAL (1999) han definido una serie de funciones que los comités de cuencas deben desempeñar. El aspecto en el que más ha trabajado MANCORSARIC es la gestión de recursos económicos, debido al poco presupuesto que maneja la mancomunidad, lo que la obliga a buscar financiamiento de otras fuentes. También se ha trabajado en el fortalecimiento de las capacidades locales; sin embargo, aunque se han establecido organizaciones, no se les ha dado seguimiento por lo que la credibilidad es mínima (Cuadro 1). Aspectos importantes para el funcionamiento del comité, tales como la promoción de campañas de educación y concienciación y el desarrollo de planes de ordenamiento en la subcuenca, han tenido un nivel de ejecución bajo, lo cual afecta el reconocimiento y empoderamiento por parte de los actores locales.

**Cuadro 1.**  
Nivel de ejecución actual de las funciones propuestas para el comité de la subcuenca del río Copán, Honduras

Funciones	Grado de ejecución			
	Bajo	Medio	Alto	Nulo
1 Elaboración de un reglamento de operación			X	
2 Establecimiento de bases de datos biofísicos y sociales		X		
3 Fortalecimiento de capacidades locales en estructuras de base (patronatos, juntas de agua, etc.)		X		
4 Análisis de los sistemas productivos locales y elaboración de propuestas para mejorar ingresos	X			
5 Desarrollo de proyectos de turismo arqueológico y fortalecimiento de los ya existentes				X
6 Gestión de recursos ante la comunidad nacional e internacional			X	
7 Promoción de mecanismos de financiamiento que den sostenibilidad a las acciones del organismo		X		
8 Elaboración de planes de desarrollo comunal e intermunicipal				X
9 Desarrollo de un proceso participativo de ordenamiento territorial en la subcuenca				X
10 Desarrollo de un plan estratégico para el manejo de la subcuenca: problema, objetivos, políticas, actividades y actores principales		X		
11 Fomento de procesos de integración, participación y coordinación de todos los actores involucrados		X		
12 Contribución al diseño de nuevas leyes y políticas que promuevan el manejo sostenible por medio de cuencas				X
13 Promoción de proyectos de servicios ambientales en los que haya un equilibrio entre lo económico y lo ambiental	X			
14 Promoción de campañas de concientización y educación ambiental				X

Fuente: Otero (2002) y CEPAL (1999) modificado por Baldizón (2006)

Si bien la sociedad civil y los actores locales saben poco de la MANCOSARIC, la misma ha venido realizando algunas gestiones y acciones consecuentes con sus funciones y responsabilidades. Entre ellas se puede destacar la elaboración de un plan estratégico de desarrollo territorial de la mancomunidad, la consolidación de la organización, el reconocimiento en las esferas de decisión al nivel nacional, la sistematización del proceso de su conformación.

#### Funcionamiento de los comités ambientales de microcuenca

##### *Los CAM y la sociedad civil*

Si bien la sociedad civil tiene un conocimiento general sobre la existencia del CAM (71% de la muestra dijo haber oído de ellos), las acciones específicas que estos realizan en la zona son menos conocidas (51%).

**Cuadro 2.**  
Funciones que debiera realizar el Comité Ambiental de Microcuenca según la sociedad civil de cada microcuenca

Funciones	Porcentaje por microcuenca		
	Sesés miles	Marroquín	El Limón
Resolver problemas ambientales (rondas, apagar incendios, protección, reforestación, etc.)	17	47	39
Hacer campañas de concientización y educación ambiental con la población	7	4	20
Brindar permisos para corta de árboles o algún aprovechamiento en el área de la microcuenca	0	2	0
Servir de nexo entre la comunidad y el gobierno local	0	0	0
Realizar una planificación (mensual, anual) de las actividades que se van a realizar	5	2	4
No sabe / No responde	66	39	28
Otras	5	6	9
Total	100	100	100

Fuente (Baldizón 2006)

Esto demuestra la falta de empoderamiento de la población, la ausencia de una estrategia de comunicación y difusión adecuada y el bajo nivel de ejecución de cada CAM en su microcuenca de acción.

Al preguntar a las personas sobre las funciones que debería realizar el CAM (Cuadro 2), la mayoría se enfocó en funciones ambientales, dejando de lado otras de vital importancia como las campañas de educación y concientización y el servir de nexo entre la comunidad y el gobierno. Estas tareas son básicas para la funcionalidad de un comité de cuencas. El nivel del conocimiento sobre el CAM es muy limitado, ya que un alto porcentaje de personas no supieron responder acerca de las funciones que el CAM debería realizar en su microcuenca.

#### *Trabajo de los miembros de los CAM*

El grado de cumplimiento de las tareas del CAM es bajo en todos los casos evaluados. En la mayoría de las microcuencas se están ejecutando proyectos de viveros y rondas para control de incendios, excepto en la microcuenca de Sesésimiles, donde solamente el presidente realiza sus funciones y en donde al momento del estudio no existía ningún proyecto impulsado por el CAM. El poco trabajo que realizan los comités se limita a resolver problemas ambientales puntuales, sin coordinación con otras instancias (Cuadro 3). La poca presencia de los CAM se puede atribuir a varias causas, aunque la principal es la ausencia de recursos económicos para su funcionamiento. El 85% de los CAM entrevistados son económicamente insostenibles, no gozan de ningún tipo de fondos ni tienen ingresos fijos para operar. También reconocen que la sociedad civil en general no participa ni les presta atención, y que las instituciones y organizaciones no gubernamentales presentes en la zona no les apoyan.

**Cuadro 3.** Funciones que están realizando los comités ambientales de microcuenca según opinión de sus propios miembros

Funciones	Porcentaje por microcuenca		
	Sesésimiles	Marroquín	El Limón
Resolver problemas ambientales (rondas, apagar incendios, protección, reforestación, etc.)	17	67	72
Hacer campañas de concientización y educación ambiental con la población	0	0	0
Otorgar permisos para corta de árboles o algún aprovechamiento en el área de la microcuenca	0	0	0
Servir de nexo entre la comunidad y el gobierno local	0	0	0
Planificación (mensual, anual) de las actividades que se van a realizar	0	0	14
No sabe / No responde	0	33	14
Ninguna	83	0	0
Total	100	100	100

Fuente (Baldizón 2006)

Para un buen funcionamiento de los CAM es necesario un canal de comunicación permanente entre estos y MANCORSARIC. En este sentido existe un enorme vacío ya que las Unidades Municipales del Ambiente (UMA), que son las encargadas de dicha coordinación, tienen muchas limitaciones en su funcionamiento. Esto lo reconocen los integrantes del CAM, quienes rara vez acuden a las UMA cuando necesitan apoyo; San Jerónimo constituye la excepción: es la única UMA que cumple con las funciones asignadas. Otro canal de comunicación podría ser la Unidad Técnica Intermunicipal (UTIM) pero, por lo general, estas no se relacionan con el nivel de base, por lo que las personas acuden poco a ella (Cuadro 4). La comunicación entre los CAM y la mancomunidad podría solucionarse si la UTIM diera seguimiento continuo a los CAM y las UMA por medio de reuniones periódicas planificadas. Un 89% de los entrevistados, sin diferenciación por microcuenca, indicó que la UTIM no realiza reuniones

periódicas, ni tampoco tiene una planificación para dar seguimiento a las acciones del CAM. Además los entrevistados identificaron estas mismas acciones como las principales para lograr una mejor comunicación entre estos entes.

La información obtenida de las entrevistas fue corroborada por medio de análisis RDA realizados con miembros de los CAM y de la sociedad civil. En estos talleres se identificaron las mismas falencias que las personas identificaron en las entrevistas; especialmente se mencionó la falta de apoyo económico y de seguimiento al proceso por parte de las autoridades municipales, así como la necesidad de contar con un nivel organizativo que garantice el reconocimiento de la sociedad civil.

#### *La Mesa Sectorial de Ambiente y Producción*

La MESAP es de creación reciente y significa una buena oportunidad para que MANCORSARIC empiece a funcionar como un verdadero comité de cuencas. Actualmente,

la mayoría de organizaciones no gubernamentales que realizan proyectos ambientales en la zona forman parte de la MESAP; sin embargo, la mayor debilidad está en el poco interés y apoyo de las instituciones nacionales. Hasta la fecha, la MESAP ha gestionado algunos proyectos, ha facilitado la cooperación interinstitucional en la subcuenca y ha contribuido a la generación de un plan estratégico y del primer plan operativo anual. Estos planes, sin embargo, sobrepasan las posibilidades de MANCORSARIC y de la mesa misma.

El mayor problema actual de la MESAP es la autosostenibilidad. El CATIE, a través del Programa Focuecas, ha sido el principal impulsor de la creación y funcionamiento de la mesa. Salvo colaboraciones puntuales del Proyecto Norte de Copán, Focuecas-CATIE es el encargado de toda la logística de la mesa. Esta situación debería cambiar; sin embargo, tal cambio debe ser gradual y consensuado para asegurar el éxito. La prolongación de las actividades del proyecto Focuecas en la zona es necesaria para la sostenibilidad de los CAM.

**Análisis institucional**

El análisis institucional realizado con el personal de la UTIM ubicó al CATIE y al Proyecto Norte de Copán (PNC) como colaboradores principales de la Mancomunidad. El primer parámetro utilizado para visualizar el nivel de cooperación (Fig. 2) fue el apoyo permanente que se ofrece a nivel técnico, logístico y económico. La diferencia entre PNC y CATIE es que el primero aporta cuando se les pide, en tanto que el CATIE participa plenamente como gestor de fondos y proveedor de apoyo logístico en materia de ambiente a la Mancomunidad. Otro aspecto que se debe resaltar es la poca colaboración del sector nacional. En el análisis de la UTIM solamente aparecen dos instituciones en el nivel más bajo de

**Cuadro 4.**

Cuando necesitan ayuda de la MANCORSARIC, a quién se dirigen los integrantes de los comités ambientales de microcuencas

Ente o institución	Porcentaje por microcuenca		
	Sesésimiles	Marroquín	El Limón
UMA	29	17	50
UTIM	14	0	0
CATIE	14	33	17
Otro	43	17	0
No sabe / No responde	0	33	33
Total	100	100	100

Fuente (Baldizón 2006)



**Figura 2.** Análisis institucional realizado por el personal de la UTIM (Baldizón 2006)

apoyo: la Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR) que actualmente colabora con la MESAP y la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) por medio del Programa Nacional de Desarrollo Local (PRONADEL).

**Marco político y legal**

La MESAP, al igual que la Mancomunidad, tiene personería jurídica y una serie de reglamentos y estatutos que le dan cierta autonomía y poder de decisión; las decisiones cruciales, sin embargo, aún son tomadas en el seno de la junta directiva de la MANCORSARIC.

La legislación hondureña carece de una ley específica de cuencas; sin embargo, hay varias leyes que directa o indirectamente favorecen la creación y funcionamiento de organismos de cuencas; entre estas podemos citar: Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento, Ley de Ordenamiento Territorial, Ley General de Ambiente, Ley de Municipalidades y Ley para el Desarrollo Rural Sostenible.

El artículo 31 de la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento promueve explícita y directamente la creación de consejos de cuencas, subcuencas y microcuencas,

estableciendo que los prestadores de servicios en una cuenca deben pertenecer y colaborar directamente con estas organizaciones. El artículo 100 de la Ley General del Ambiente habla de la creación de una Red Nacional de Cuencas Hidrográficas para coordinar la administración de los recursos hídricos y mejorar la calidad y cantidad de agua, con el propósito de garantizar a la población el uso permanente del recurso. Además, existen algunas políticas nacionales y tratados internacionales, como el Plan Forestal y Política Ambiental, la Agenda 21 y la Carta Centroamericana del Agua que apoyan la gestión de proyectos y garantizan el apoyo jurídico y legal a los comités de cuenca.

### Conclusiones y recomendaciones

■ Desde su creación, la MANCORSARIC ha ejecutado diversos proyectos gracias a su alianza con cooperantes internacionales como el CATIE y la cooperación al desarrollo de los gobiernos japonés, español y sueco; sin embargo, su compromiso con la gestión de cuencas hidrográficas se ha empezado a consolidar con el trabajo de la MESAP. Esta organización, recientemente creada, ha logrado reunir a la mayoría de organizaciones no gubernamenta-

les que realizan proyectos ambientales y de recursos naturales en la zona, y empieza a tomar liderazgo en la planificación, implementación y seguimiento de las acciones que tienen que ver con la gestión de cuencas. Para garantizar su consolidación y sostenibilidad se requiere del apoyo de organizaciones locales y nacionales, además de la cooperación internacional.

- Existe poco conocimiento y empoderamiento de la sociedad civil en cuanto a las actividades y proyectos que los CAM y la MANCORSARIC realizan en la zona. Se deben implementar campañas de comunicación y socialización que promuevan la participación integral de la sociedad civil en las actividades realizadas por estos entes.
- Los CAM no reciben apoyo ni seguimiento por parte de las ONG e instituciones del gobierno que desarrollan proyectos ambientales en la zona; asimismo, no tienen el contenido económico que les permita la ejecución idónea a nivel de microcuenca. Este hecho se refleja en la débil labor que vienen realizando.
- Las UMA no funcionan en la subcuenca (excepto en San Jerónimo); esto dificulta las relaciones entre la base local y el organismo mancomunado. Es necesario dar capa-

citación a los funcionarios de las UMA y fortalecer esos entes para mejorar su funcionamiento.

- Las instituciones nacionales no están involucradas en las acciones que realiza MANCORSARIC, lo que disminuye su alcance como comité de cuencas. Es necesario crear mecanismos que aseguren la participación de estas organizaciones para lograr una articulación e integración definitiva con el nivel del gobierno central.
- Los procesos de institucionalidad dentro de la subcuenca están avanzando - muestra de esto es el empoderamiento de los CAM con la creación de la MESAP. Sin embargo, para que este proceso sea exitoso debe haber mayor acompañamiento por parte de las autoridades y organizaciones (nacionales e internacionales) que operan en el área; se debe poner especial atención al trabajo con los CAM, como representantes de las organizaciones de base.

### Agradecimientos

Al CATIE, especialmente al proyecto Focucenas por financiar mi trabajo de campo; agradezco especialmente al Ing. Josué A. León, coordinador del Programa Focucenas en Copán Ruinas, y a toda la gente que colaboró muy de cerca conmigo durante la fase de campo de este estudio.

### Literatura citada

- Baldizón, J. 2006. Análisis de los procesos de institucionalidad para el manejo de la subcuenca del río Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 107 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2004. Programa Innovación, Aprendizaje, y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas (FOCUENCAS II): propuesta para la segunda fase (documento digital). Turrialba, CR, CATIE. 85 p.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 1999. Creación de entidades de cuencas en América Latina y el Caribe (documento digital). Santiago, CL, CEPAL. 75 p.
- Faul, M; Camacho, K. 2004. Knowledge sharing toolkit: An evolving collection of practical knowledge sharing techniques (digital paper, draft). California, US. 15 p.
- Faustino, J; Jiménez, F. 2005. Institucionalidad de los organismos de cuencas. Turrialba, CR, CATIE. Programa Focucenas II. 75 p.
- Geilfus, F. 2002. 80 Herramientas participativas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. San, Salvador, SV, EDICPSA. 6ª ed. 208 p.
- Guillén, R. 2002. Modelación del uso de la tierra para orientar el ordenamiento territorial en la subcuenca del río Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 90 p.
- MANCORSARIC (Mancomunidad de Municipios de Copán Ruinas, Cabañas, Santa Rita y San Jerónimo). 2003. Plan estratégico de desarrollo de la mancomunidad de la Ruta Maya (2004 – 2010) (documento digital). Copán Ruinas, HN, MANCORSARIC. 38 p.
- Otero, S. 2002. Creación y diseño de organismos de cuencas en la subcuenca del Río Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.

# Valoración económica de los beneficios de protección del recurso hídrico bajo un esquema de pago por servicios ecosistémicos en Copán Ruinas, Honduras<sup>1</sup>

Jackeline Cisneros<sup>2</sup>; Francisco Alpizar<sup>3</sup>;  
Róger Madrigal<sup>4</sup>

La valoración económica de los beneficios potenciales de la protección de las fuentes de agua que sirven a Copán Ruinas permite estimar el monto máximo que se podría cobrar a los beneficiarios de un programa de PSEH local. Aunque el monto final de cobro depende de una decisión política, desde el punto de vista del bienestar social de la comunidad, el cobro promedio no debería exceder el monto máximo de disponibilidad expresado en este estudio.



Fotos: Jackeline Cisneros.

<sup>1</sup> Basado en Cisneros, J. 2005. Valoración económica de los beneficios de la protección del recurso hídrico y propuesta de un marco operativo para el pago por servicios ambientales en Copán Ruinas, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 81 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo Integrado de Cuencas, CATIE. cisneros@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Grupo Bienes y Servicios Ambientales, CATIE. falpizar@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Grupo Bienes y Servicios Ambientales, CATIE. rmadriga@catie.ac.cr

## Resumen

Este artículo demuestra la utilidad de la valoración contingente para determinar los beneficios económicos totales de un programa de protección a las fuentes de agua que abastecen el casco urbano del municipio de Copán Ruinas, Honduras. La metodología y resultados se utilizan como insumo para el diseño de un esquema de pagos por servicios ambientales (PSA), con énfasis en el recurso hídrico. La disponibilidad máxima de pago, por encima del cobro actual del servicio de agua potable, sirve para: i) estimar los beneficios sociales máximos que generaría un programa de protección a las fuentes; ii) recomendar el cobro máximo promedio que se debería implementar bajo un esquema de PSA; iii) estimar los ingresos potenciales que se podrían recolectar para crear un fondo de PSA financiado por los actores locales. El artículo evidencia la importancia de los factores institucionales como condicionantes de la disponibilidad de pago y señala la importancia de discriminar entre distintos tipos de usuarios mediante una adecuada estructura tarifaria.

**Palabras claves:** Recursos hídricos; conservación de aguas; ordenación de aguas; agua potable; pago por servicios ambientales; valoración contingente; análisis económico; Copán Ruinas; Honduras.

## Summary

**Economic valuation of benefits derived from hydrological resources protection by a payment for environmental services scheme in Copán Ruinas, Honduras.** This paper discusses the results of a contingent valuation to determine the economic benefits derived from a program for protecting sources of water in Copán Ruinas, Honduras. Both methodology and final results were used as inputs for a payment for environmental services scheme (PES) focused on hydrological resources. The willingness to pay (an amount the service users are willing to pay for conserving the service) helps to: i) Estimate the maximum social benefits derived from such a program. ii) Decide on the highest fare to charge to users within a PES scheme. iii) Evaluate potential incomes for creating a fund to finance the PES. It is clear that there are organizational issues conditioning willingness to pay; also it is necessary to differentiate among users by means of an adequate fare scheme.

**Keywords:** Hydric resources; water conservation; water management; water potable; payments for environmental services; contingent valuation; economic analysis; Copan Ruinas; Honduras.

## Introducción

El crecimiento de las economías y el bienestar de las poblaciones humanas están estrechamente asociados con los beneficios que proveen los ecosistemas en términos de provisión de madera y alimentos, regulación del clima e inundaciones y opciones para la recreación y la investigación, por citar sólo algunos ejemplos. En términos generales, este conjunto de beneficios es lo que se conoce como servicios ecosistémicos (MEA 2005). Los servicios ecosistémicos relacionados con la provisión y regulación

de ciclos hídricos tienen particular importancia en el caso de poblaciones humanas ubicadas en zonas rurales pobres. Paradójicamente, la mayoría de gobiernos locales de estas comunidades no cuentan con suficientes recursos para garantizar la provisión de agua en buena cantidad y de calidad.

El pago por servicios ecosistémicos hídricos (PSEH) representa un arreglo institucional que ofrece una alternativa para la conservación y protección de zonas prioritarias para el abastecimiento de agua y, a la vez, permite disminuir la presión sobre el

escaso presupuesto de los municipios que desean invertir en la gestión integral del recurso hídrico. El PSEH procura internalizar en la población el costo económico de la prestación de servicios ecosistémicos hídricos y estimular la participación de los propietarios de las fincas en las áreas prioritarias por medio de una compensación económica proveniente de los usuarios de dichos servicios.

Desde el punto de vista técnico, para el diseño de un esquema de pago por servicios ecosistémicos, se requiere investigar tres componentes esenciales: oferta, deman-



da y marco operativo (Campos et ál. 2005, Campos y Madrigal 2006, Alpízar y Madrigal 2005a). El presente estudio se enfoca principalmente en determinar la demanda económica para la provisión del servicio ecosistémico de provisión y regulación hídrico destinado al consumo humano en la ciudad de Copán Ruinas, Honduras.

## Metodología

### Sitio de estudio

La subcuenca del río Copán está ubicada en el sector noroeste del departamento de Copán, Honduras. La subcuenca tiene una extensión de 619 km<sup>2</sup> aproximadamente y es compartida por los municipios de Copán Ruinas, Santa Rita, Cabañas, Concepción y San Jerónimo (CATIE 2003). Las microcuencas de las quebradas Sesésmiles (39 km<sup>2</sup>) y Marroquín (32 km<sup>2</sup>) alimentan al sistema de agua potable de la ciudad de Copán Ruinas (Fig 1). El relieve es de pendientes fuertes y la altitud varía entre 590 y 1483 msnm. Las temperaturas mínima y máxima promedian entre 18 y 29°C. La precipitación anual es de 1600 mm (ESNACIFOR 2005).

El patrón socioeconómico de las microcuencas está marcado por un bajo nivel de escolaridad e ingresos. Las principales actividades económicas de la población rural se relacionan con la caficultura y la agricultura poco diversificada y para el autoconsumo, principalmente. El ingreso familiar anual es menor a US\$335 (Proyecto Norte de Copán 2004). En la zona urbana, las principales actividades económicas son el turismo, el comercio y los servicios. El área cuenta con una buena cobertura de servicios básicos. El nivel educativo mejor cubierto es el primario; hay un subcentro de salud de medicina general que atiende a toda la población (Municipio Copán Ruinas 2003).

El nivel de seguridad en la tenencia de la tierra es bajo, lo cual incide directamente en la baja adopción y

adaptación de tecnologías adecuadas que protejan los recursos naturales (Proyecto Norte de Copán 2004). La presión sobre el bosque remanente para satisfacer las necesidades de madera y leña es muy fuerte, y no se usan prácticas de conservación y protección de suelos y agua. Pese que existe una amplia normativa nacional y local relacionada con el recurso forestal, la implementación de la misma no es del todo efectiva, sobre todo por la falta de recursos económicos y humanos (Cisneros 2005).

### Caracterización del abastecimiento del sistema de agua potable

La ciudad de Copán Ruinas cuenta con un servicio de agua potable administrado por el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillado (SANAA). Las fuentes de agua utilizadas para el consumo son superficiales, el relieve de las zonas donde se encuentran éstas se caracteriza por presentar pendientes que van de medias a altas. La cobertura vegetal puntual alrededor de las presas es arbustiva y arborea semihúmeda (Cisneros 2005).

Las principales actividades económicas desarrolladas en las fincas donde se localizan las fuentes de agua son la agroforestería (café con sombra), la ganadería, la agricultura y el turismo. Lamentablemente, estas fuentes son afectadas por el uso inadecuado del suelo, la tala ilegal, la quema y la contaminación con aguas miel y otros desechos (Cisneros 2005). En términos generales, la infraestructura del sistema de agua potable, especialmente de los componentes de conducción y distribución, se encuentra en un estado de regular a malo, a causa del deterioro y vencimiento de su vida útil (Cisneros 2005). El tratamiento que se da al agua es desinfección con cloro y control de turbidez y pH. Se estima que la cobertura del servicio es del 80% (SANAA 2005).

En Copán Ruinas no se cuenta con un sistema de micromedición, lo cual provoca que el sistema tarifario que maneja el SANAA se base en tarifas de consumo estimadas por mes. En el ámbito comercial, las tarifas máximas son pagadas por los hoteles y restaurantes mejor equipados; en la categoría doméstica, las tarifas mínimas las pagan los hogares de escasos recursos económicos, según criterios del SANAA.

### *Demanda física de agua potable*

Hasta el 1 de enero 2007 existían 1190 abonados registrados en la ciudad de Copán Ruinas: 1082 en la categoría doméstica, 104 comerciales y 4 gubernamentales que consumían un total estimado de 67.222 m<sup>3</sup> de agua potable (SANAA 2005). Los principales usos que dan al agua potable en el área urbana son: limpieza del hogar, aseo personal, cocina, regar jardines y calles. La disponibilidad de agua es limitada debido principalmente al deterioro y la antigüedad de la red de distribución. La calidad del agua se ve afectada por el poco tratamiento que se le da (sólo cloración y sedimentación, no se trata el contenido de agroquímicos ni las aguas mieles) (SANAA 2005) y la infiltración de residuos y contaminantes debido al mal estado de la red de distribución. La inseguridad en la calidad y disponibilidad del agua genera un incremento en los gastos en que debe incurrir cada familia para proteger su salud. Esto ha sido uno de los factores que han favorecido la aparición de un mercado privado (agua embotellada) paralelo al del servicio prestado por el SANAA.

### Metodología

En el proceso de investigación se consideraron los siguientes pasos:

- Determinación de la población beneficiaria
- Selección de la muestra
- Diseño de la encuesta
- Selección y capacitación de los encuestadores



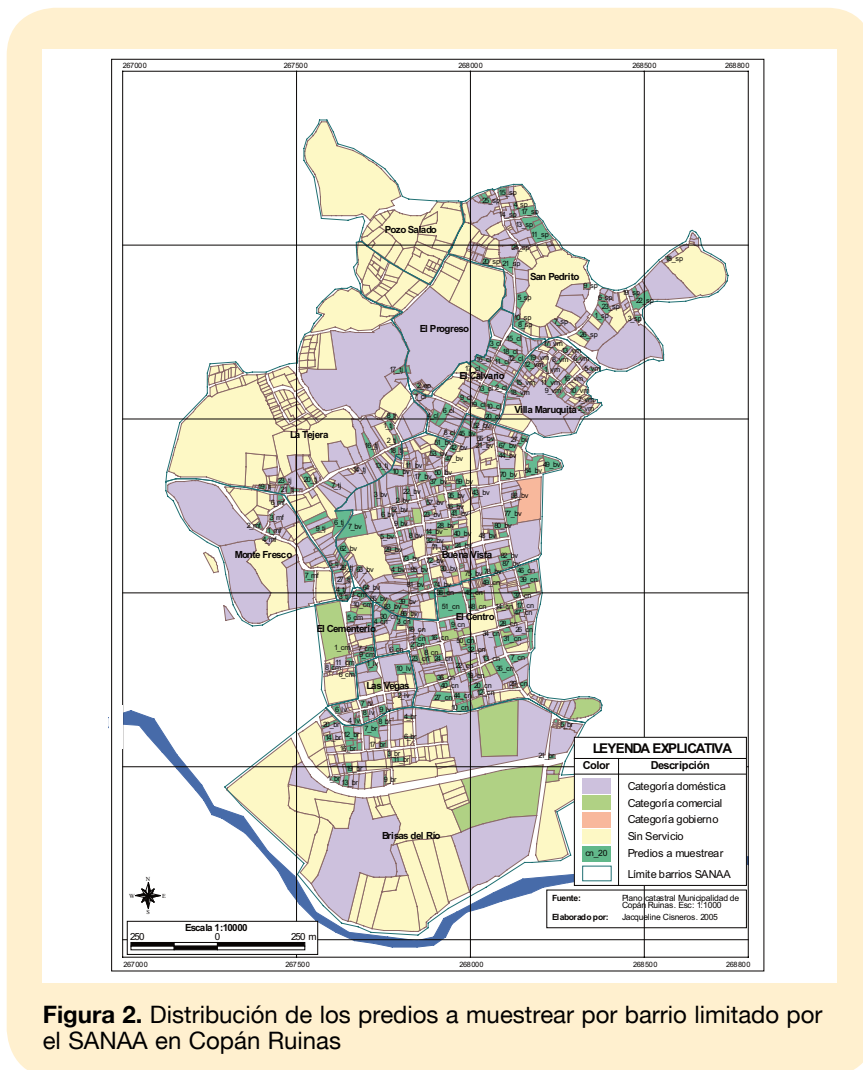
de la ciudad de Copán Ruinas con los predios seleccionados al azar, respectivamente codificados por barrio y número, y representados con diferente color para facilitar al entrevistador una rápida ubicación.

#### Diseño de la encuesta

El Cuadro 1 muestra la estructura de la encuesta aplicada. El diseño de la encuesta sigue el modelo planteado por Mitchell y Carson (1989) para evaluar la disponibilidad de pago de los beneficiarios por un mejoramiento hipotético de un bien o servicio ecosistémico. Además, se hizo énfasis en que el objetivo fundamental del presente estudio era para la protección de las fuentes de agua que alimentan al sistema de agua potable y no para efectuar mejoras en la infraestructura física del sistema.

La encuesta fue sometida al análisis del grupo focal de líderes de la comunidad identificados en la zona de estudio, con el fin de conocer sus apreciaciones y sugerencias a la misma. También se evaluó el vector de pagos a preguntar, con el fin de reducir la variabilidad en las respuestas individuales y dar mayor consistencia al análisis estadístico. El formato de las preguntas planteadas, especialmente en cuanto a disponibilidad de pago, fue dicotómico simple. El vector de pagos sugerido fueron: Lps 15, 25, 50, 75 y 100<sup>6</sup>. Luego de presentar una breve descripción del proyecto al entrevistado, se le presentó la siguiente pregunta de valoración:

*¿Estaría usted a favor del plan de conservación y de protección de las fuentes de agua, aun si esto le costara a su familia y a otras, \_\_\_\_\_ lempiras cada mes? Usted debe saber que los fondos recaudados serán manejados en un fondo exclusivo para este fin. Recuerde que su familia no podrá usar este dinero para otros propósitos.*



**Figura 2.** Distribución de los predios a muestrear por barrio limitado por el SANAA en Copán Ruinas

- *Sí, ¿Está seguro(a)? Recuerde que este cobro puede volverse realidad en el futuro.*
- *No*

#### Levantamiento de datos en campo

Se realizó un proceso de premuestreo como lo recomienda Spaninks y Kuik (1997). Para la selección y entrenamiento del equipo de entrevistadores se siguieron los pasos sugeridos por Whittington (2002), sobre todo cuando la entrevista es personal. El número de encuestas a aplicarse para cada monto sugerido del vector de pagos se distribuyó en percentiles, como lo sugieren Spaninks y Kuik (1997). Finalmente, se realizó

una fase de difusión a través de los principales medios de comunicación en Copán Ruinas previo al levantamiento de datos. Además, durante el proceso de levantamiento de datos se mantuvo un continuo monitoreo de los recorridos realizados por los entrevistadores y una evaluación diaria de la información entregada, cerrando el proceso con un taller de evaluación general.

#### Cálculo de la disponibilidad de pago

El cálculo del monto promedio de la disponibilidad de pago se realizó a través de dos tipos de análisis: uno no paramétrico (utilizando como

6 El tipo de cambio empleado durante la investigación fue US\$1 = Lps18.

**Cuadro 1.**  
Estructura general de la encuesta para valoración contingente aplicada en Copán Ruinas

Secciones	Subtemas
Información general del abonado	Barrio Número de encuesta Pago mensual por servicio de agua potable
Servicio del agua potable que se recibe en la vivienda o establecimiento	Calidad Disponibilidad Servicio administrativo
Manejo de cuencas e institucionalidad	Conocimiento de manejo de cuencas Protección de fuentes de agua Institucionalidad Participación social
Disponibilidad de pago para el proyecto de protección de las fuentes de agua	Disposición a participar Razones para no participar Monto a pagar Monto máximo de pago Vehículo de pago
Información socioeconómica	Género Tipo de propiedad Actividad económica y relación con estructura familiar Edad Nivel de estudios Tipo de servicios que tiene la vivienda o establecimiento Promedio del ingreso mensual de la familia o empresa

estimador una interpolación lineal) y otro paramétrico (análisis de un modelo de utilidad aleatoria a través del modelo econométrico PROBIT). Adicionalmente se calculó la disponibilidad de pago promedio para varios rangos de ingreso promedio mensual en cada categoría de consumo, con la finalidad de discriminar entre diferentes condiciones socioeconómicas existentes en la población de Copán Ruinas y contar con una alternativa de asignación de montos a pagar más equitativa, consecuente con la forma actual de definir tarifas del SANAA. Sin embargo, esta forma de discriminar no está relacionada con el principio de “quien consume más, paga más” debido a que no existe un sistema adecuado de micromedición que determine el consumo real de cada abonado.

El análisis no paramétrico de los datos no es restringido. Para conocer la disponibilidad de pago sólo se utiliza la respuesta positiva del entrevistado y el monto sugerido por el encuestador. Se considera que la disponibilidad de pago es una variable aleatoria con una distribución acu-

mulada de probabilidad dada por  $F_{DP}$ . Entonces, las probabilidades de que un entrevistado  $i$  responda negativa o positivamente a un monto  $j$  propuesto de pago mensual están dadas por:

$$\text{Prob (No monto } j) = \text{Prob } [dp_i < m_j] = F_{DP}(m_j) \quad (2)$$

$$\text{Prob (Sí monto } j) = \text{Prob } [dp_i > m_j] = 1 - F_{DP}(m_j) \quad (3)$$

Donde:

Prob = Probabilidad

$m_j$  = monto  $j$  propuesto de pago mensual.

La ecuación 3 se denomina generalmente como función de supervivencia. El valor medio de la DP está dado por:

$$E[DP] = \int_0^A [1 - F_{DP}] dDP \quad (4)$$

Este valor corresponde al área debajo de la función de supervivencia. Para poder realizar la estimación no paramétrica es necesario completar los puntos faltantes en la función de supervivencia. Para esto se utiliza interpolación lineal, de forma tal que:

$$E[DP] = \sum_{j=1}^J P_{j+1} * (m_{j+1} - m_j) + \frac{(m_{j+1} - m_j)(P_j - P_{j+1})}{2}$$

(5)

Donde:

$m_j$  = monto propuesto de pago mensual en escenario  $j$

$P_j$  = Proporción de respuestas afirmativas al  $m_j$

$J$  = # total de montos sugeridos

Por otro lado, con respecto al análisis paramétrico de los datos, se supone que el cambio en la utilidad indirecta que percibe un individuo sobre la mejora del bien en cuestión es el valor marginal del bienestar que este cambio le brindaría. De esta forma la utilidad indirecta  $v_{ij}$  va a estar definida por el precio  $j$  que debe pagar el individuo  $i$  para que se produzca la mejora y por el ingreso mensual que posee, entre otras variables independientes que describen la situación  $j$ .

Si se analiza la función de utilidad aleatoria como una función lineal,  $v_{ij}$ , la expresión sería:

$$v_{ij} = \alpha_i \Delta z_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (6)$$

Donde:

$\alpha$  = es el vector de los coeficientes de las variables independientes

$z_{ij}$  = una matriz transpuesta las variables explicativas, incluido el ingreso del individuo  $i$

$\epsilon_{ij}$  = agrupa las preferencias del individuo no observadas por el encuestador

Para lograr un excedente en el bienestar del individuo y cambiar del *status quo* al escenario planteado por el proyecto, es necesario que cada involucrado aporte un monto que permita dicho cambio. Si en la ecuación 6 se deja explícita la variable ingreso  $y_j$  y su coeficiente  $\beta$  la ecuación quedaría expresada como:

$$\alpha z_{i1} + \beta(y_{i1} - DP_{i1}) + \varepsilon_{i1} = \alpha z_{i0} + \beta y_{i0} + \varepsilon_{i0} \quad (7)$$

Obteniéndose una variación positiva para el nivel de utilidad, si y sólo si:

$$\Delta v_{ij} > 0 \quad (8)$$

Nuestra variable de respuesta binaria para el individuo  $i$  al monto sugerido  $j$ ,  $\delta_j$ , se relaciona con esta ecuación 8, de forma que  $\delta_j = 1$  si  $\Delta v_{ij} > 0$  y  $\delta_j = 0$  si  $\Delta v_{ij} < 0$ . Si se supone que  $\varepsilon_j = \varepsilon_{1j} - \varepsilon_{0j}$ , la probabilidad de obtener una respuesta positiva es definida por la ecuación:

$$P(\delta_j = 1) = P(\Delta v_{ij} > 0) = P(\alpha_j \Delta z_{ij} + \beta DP_{ij} + \varepsilon_j > 0) \quad (9)$$

Suponiendo que los  $\varepsilon_j$  están distribuidos bajo una función de distribución normal y simétrica, se emplea un algoritmo tipo PROBIT para el cálculo de los parámetros estadísticos. Dado este supuesto, la media y la mediana del DP son las mismas con respecto a las preferencias aleatorias, despejando la DP de la ecuación 9 se tiene que:

$$DP = \alpha \Delta z / \beta \quad (10)$$

Donde:

$\Delta z$  = es el programa propuesto. Para el análisis paramétrico de los datos en LIMDEP y cálculo de la disponibilidad de pago, el procedimiento general seguido fue el recomendado por Habb y MacConnell (2002).

## Resultados y discusión

Con respecto a la regularidad del servicio de agua potable reportada por los entrevistados, se encontró que cerca de un 40% de la población cuenta con agua cada dos días. La falta del suministro es cubierta generalmente por el agua almacenada en reservorios domésticos. Sin embargo, la desconfianza en cuanto a la calidad de la misma lleva al usuario a adquirir agua embotellada

**Cuadro 2.** Frecuencia de aceptación de montos sugeridos en la encuesta

Montos sugeridos (Lps)	15	25	50	75	100
# de personas (Sí)	24 (51%)	21 (39%)	11 (23%)	7 (15%)	2 (4%)
# de personas (No)	23 (49%)	33 (61%)	36 (77%)	41 (85%)	45 (96%)
Total	47	54	47	48	47

para ingerir. En el Cuadro 2 se resumen las frecuencias de aceptación de los diferentes montos sugeridos de manera aleatoria a los encuestados. Por otra parte, el 46% de los encuestados que desean participar en el proyecto de PSEH piensan que el vehículo de pago mensual idóneo sería el recibo de agua potable, siempre y cuando se especifique el nombre del proyecto y que se resalte el monto a pagar.

## Análisis no paramétrico de los datos

La función de supervivencia se pudo calcular fácilmente a partir de los datos del Cuadro 2 (Fig. 3). Con dicha información y aplicando la estimación por interpolación lineal mediante la ecuación 2, se obtiene que la disponibilidad promedio de pago es de Lps 19,39 al mes (~US\$ 1,08). Con este dato y conociendo el tamaño de la población de beneficiarios del agua potable en Copán Ruinas, se estima que el beneficio

social anual del proyecto de protección de las fuentes sería igual a US\$15.383.

## Análisis paramétrico de los datos

Para realizar la estimación con PROBIT se seleccionaron cinco variables independientes que explican la disponibilidad de pago en términos económicos (Cuadro 3). En el Cuadro 4 se describen los valores de los índices de probabilidad calculados y las estadísticas que definen la validez de las variables explicativas con respecto a la variable independiente en el modelo, el cual ofrece un 79,4% de probabilidad de conseguir respuestas correctas.

Las variables “monto”, “frecuencia” e “ingreso” muestran la mayor significancia estadística. El signo negativo de la variable “monto” es el esperado ya que entre más alto fue el monto de pago sugerido al entrevistado menor fue la probabilidad de obtener una respuesta positiva. Pese a su baja significancia,

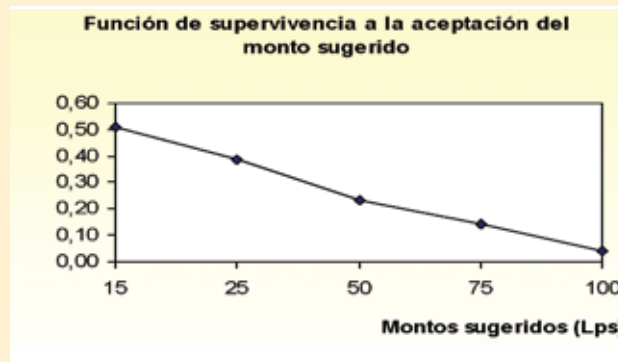
**Cuadro 3.** Descripción de las variables que intervinieron en el modelo paramétrico tipo PROBIT

Variable	Tipo	Descripción
Disponibilidad de pago	Dicotómica	Sí / No
Monto	Dicotómica	Monto sugerido por encima del pago mensual actual del recibo de agua potable
Edad	Continua	Edad del entrevistado
Género	Dicotómica	Femenino / Masculino
Frecuencia	Categoría	Frecuencia con la que recibe el agua Todos los días / sólo en la mañana o en la noche / cada dos o tres días o fines de semana
Ingreso	Continua	Ingreso promedio (Lps) que percibe la familia al mes

el signo negativo de la variable “edad” sugiere que entre mayor sea el encuestado, menor disponibilidad de pago tendrá. Esto puede deberse a que las nuevas generaciones están más expuestas a campañas y educación formal donde se enfatiza en el tema de la protección y la conservación de los recursos naturales. Por otro lado, el signo positivo de la variable “género” indica que las mujeres muestran mayor disponibilidad de pago. Este resultado es consistente con otros estudios relacionados con disponibilidad de pago para protección del recurso hídrico (por ejemplo, el realizado por Alpízar y Madrigal (2005b) en Esparza, Costa Rica) ya que probablemente las mujeres son las más afectadas en su quehacer diario por el deterioro en la calidad y disponibilidad de agua potable.

El impacto negativo de la frecuencia del servicio de agua potable sobre la disponibilidad de pago puede deberse a que las familias o negocios que tienen mayor disponibilidad de agua potable no perciben con tanta intensidad la necesidad de cuidar el recurso hídrico ya que lo pueden considerar como un recurso infinito. Por otra parte, la significancia e impacto positivo de la variable “ingreso” parece confirmar la hipótesis de que entre mayor nivel adquisitivo de la familia o el negocio, mayor es la disponibilidad de pago para un proyecto de protección permanente de las fuentes de agua que abastecen al municipio de Copán Ruinas.

Finalmente, con el modelo lineal planteado se procedió a calcular el valor de la disponibilidad de pago a partir de la ecuación 4. De este procedimiento se obtuvo que la disponibilidad de pago promedio máxima mensual por encima del monto del recibo actual de agua potable es de 16 Lps (con una significancia del 95%). Con este valor, se estima que el bienestar social total que generaría el proyecto de protección propuesto es de US\$12.720 anuales.



**Figura 3.** Función de supervivencia a la aceptación del monto sugerido para el cálculo del promedio de la disponibilidad de pago para el proyecto de PSEH en Copán Ruinas

**Cuadro 4.**

Estadística y coeficientes calculados por el modelo PROBIT para una función de utilidad aleatoria lineal

Variable	Coefficiente	P[ Z >z]
Constante	0,219	0,135
Monto	-0,006	0,000
Edad	-0,003	0,098
Género	0,105	0,052
Frecuencia	-0,105	0,000
Ingreso	2,48E-05	0,000

Adicionalmente a las estimaciones anteriores, se realizó el cálculo de la disponibilidad de pago para tres estratos (bajo, medio, alto) con base en el ingreso promedio mensual de las familias o negocios encuestados. De este modo se pretende discriminar entre las diferentes condiciones socioeconómicas para cada categoría y a la vez tratar de aproximarse a la forma de cálculo de tarifas que realiza el SANAA.

La población de usuarios ubicada en la categoría doméstica es de 1.082 abonados registrados, de los cuales 206 fueron encuestados. Con base en el ingreso promedio mensual reportado, se definieron tres estratos: <1.500 Lps, entre 1.500 y 9.000 Lps y >9.000 Lps. Cada encuestado se ubicó en el estrato correspondiente y partir de allí se

realizó la estimación. Para la categoría comercial también se hizo un cálculo similar. En este grupo existen 104 abonados registrados, pero se encuestaron 37. Los tres estratos de ingreso promedio mensual (bajo, medio y alto) se definieron así: <7.500 Lps, de 7.500 a 10.500 Lps y >10.500 Lps. Los montos de la disponibilidad de pago calculados para cada estrato por tipo de abonado se resumen en el Cuadro 5.

#### Montos de cobro e ingresos potenciales

Las estimaciones promedio máximas de la disponibilidad de pago sirven para determinar el cobro máximo que desde el punto de vista técnico se podría establecer por concepto de tarifa específica para un eventual PSEH. Debido a que las estimaciones anteriores

son promedios para la población es necesario distinguir entre distintos tipos de usuarios. Ante la ausencia de medición volumétrica, una forma posible de lidiar con este problema son las estimaciones de montos de cobro (Cuadro 5). Es claro que, desde el punto de vista técnico, no debería cobrarse más allá de la disponibilidad de pago enunciada por los entrevistados ya que si esto no se cumple, los costos excederían los beneficios y, en consecuencia, el bienestar social neto sería negativo.

Para llevar a la práctica la creación y alimentación de un fondo ambiental hídrico se necesita que el monto promedio de cobro a los usuarios sea sometido a discusión, consenso y aceptación por la población urbana de Copán Ruinas. Además, el fondo deberá ser alimentado con otras fuentes de ingresos, ya sean locales, nacionales o internacionales, gestionados a través de la entidad que se haga cargo del manejo del proyecto y con la participación de otras organizaciones claves que estén dispuestas a asumir responsabilidades en la ejecución del mismo.

Si se utilizan las estimaciones de la disponibilidad de pago para aproximar la magnitud máxima de los fondos que podrían recaudarse a partir de una eventual tarifa de PSEH, se tiene que con base en una disponibilidad de pago de 19,39 Lps al mes (~US\$1,08) y 1.190 abonados inscritos, el fondo ambiental hídrico recibiría US\$1.284 mensuales y US\$15.383 anuales, máximo. Según la estimación paramétrica de la disponibilidad de pago, el fondo contaría con un total aproximado de US\$1.060 mensuales y US\$12.720 anuales. Como se ve, los valores máximos son similares entre sí, e iguales a la estimación de los beneficios sociales potenciales del proyecto de PSEH. Si se realiza una aproximación de los ingresos a partir de la disponibilidad de pago, según



Foto: Jackeline Cisneros.

Es importante que la distribución de la carga de la internalización de los costos ambientales de la protección sea equitativa y proporcional a los beneficios recibidos por usuario

**Cuadro 5.** Cálculo de la disponibilidad de pago promedio para abonados domésticos y comerciales, con base en el ingreso promedio mensual

Estrato	Ingreso promedio (Lps)	# abonados muestra	# abonados total	Disponibilidad de pago		
				Estrato (Lps)	Total (Lps)	Total (US\$)
<b>Abonados domésticos</b>						
Bajo	1.500	99	520	4,28		123,53
Medio	5.156	96	504	18,16	2.223,53	508,73
Alto	11.318	11	58	41,56		133,40
					9.157,07	
					2.401,19	
	<b>Total</b>	<b>206</b>	<b>1.082</b>		<b>13.781,79</b>	<b>765,65</b>
<b>Abonados comerciales</b>						
Bajo	3.600	20	56	12,2	688,6	38,2
Medio	8.318	11	31	30,1	932,7	51,8
Alto	24.000	6	17	89,7	1.513,0	84,0
	<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>104</b>		<b>3.134,5</b>	<b>174,1</b>

categoría de ingresos, los resultados indican que se podría contar con un máximo aproximado de US\$940 mensuales y US\$11.278 anuales.

### Conclusiones

La valoración económica de los beneficios potenciales de la protección de las fuentes de agua que


serven a Copán Ruinas permite estimar el monto máximo que se podría cobrar a los beneficiarios de un programa de PSEH local. Aunque el monto final de cobro depende de una decisión política, desde el punto de vista del bienestar social de la comunidad, el cobro promedio no debería exceder el

monto máximo de disponibilidad expresado en este estudio. La viabilidad financiera del esquema y la generación de un excedente social positivo dependerá de que los costos de implementación y los pagos efectivos a los finqueros por prestación de servicios ecosistémicos sean menores a los beneficios económicos totales estimados.

Los montos de cobro a la población deben ajustarse según el tipo de beneficiario y sistema tarifario imperante en el momento de la implementación. En ausencia de medidores, una opción es crear categorías de pago estratificado a partir de criterios definidos por el ente administrador. Lo importante en este caso es que la distribución de la carga de la internalización de los

Los serios problemas identificados en el manejo de fuentes de agua, tratamiento y distribución del agua potable ponen en riesgo la sostenibilidad del proyecto de PSEH a largo plazo, a menos de que se inicien paralelamente proyectos complementarios que busquen solucionar las deficiencias en la infraestructura física del sistema de agua potable.

costos ambientales de la protección sea equitativa y proporcional a los beneficios recibidos por usuario.

Los serios problemas identificados en el manejo de fuentes de agua, tratamiento y distribución del agua potable ponen en riesgo la sostenibilidad del proyecto de PSEH a largo plazo, a menos de que se inicien paralelamente proyectos complementarios que busquen solucionar las deficiencias en la infraestructura física del sistema de agua potable, enfatizando el mejoramiento de los componentes de conducción y distribución. El PSEH no puede desligarse de la necesidad de hacer inversiones en la infraestructura física del sistema de agua potable; la gestión integral del recurso hídrico así lo exige. 

## Literatura citada

- Alpizar, F; Madrigal, R. 2005a. Propuesta de una metodología estandarizada para el diseño e implementación de un esquema de pago por servicios ambientales hídricos a nivel local. Turrialba, CR, Focuecas II. 18 p.
- . 2005b. Valoración económica de beneficios ambientales hídricos en paisajes intervenidos, cantón de Esparza, Costa Rica. Turrialba, CR, Grupo SEBSA - CATIE. 12 p.
- Campos, JJ; Alpizar, F; Louman, B; Parrotta, J. 2005. An integrated approach to forest ecosystem services. Forest in the global balance-changing paradigms. Helsinki, FI, IUFRO. World series vol. 17. p. 97-116.
- ; Madrigal, R. 2006. Enfoque integral para esquemas de pago por servicios ecosistémicos forestales. Segundo Congreso Latinoamericano IUFRO-LAT [La Serena, Chile, 23-27 octubre, 2006]. 26 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2003. Perfil de proyecto de manejo de la subcuenca del Río Copán para la protección del parque arqueológico de Copán Ruinas, Honduras. Turrialba, CR, CATIE. 33 p.
- Cisneros, J. 2005. Valoración económica de los beneficios de la protección del recurso hídrico y propuesta de un marco operativo para el pago por servicios ambientales en Copán Ruinas, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 81 p.
- ESNACIFOR (Escuela Nacional de Ciencias Forestales, HN). 2005. División de Producción y Servicios. Siguatepeque, HN, Departamento de SIG.
- Habb, T; McConnell, KE. 2002. Valuing environmental and natural resources: The econometrics of non-market valuation. New horizons in environmental economics. Cheltenham, UK/ Northampton, MA, US. 326 p.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and human well-being. Synthesis. Washington DC, US, Island Press. 138 p.
- Mitchell, R; Carson, R. 1989. Using surveys to value public goods: the contingent valuation method. Washington DC, US. Resources for the Future. 3 ed. 441 p.
- Municipio Copán Ruinas. 2003. Diagnóstico del municipio Copán Ruinas. Honduras. 14 p.
- Proyecto Norte de Copán. 2004. Encuestas para el diagnóstico de las microcuencas de las quebradas Sesésmil y Marroquín: desarrollo local de autogestión Norte de Copán. Componente Microcuenca. Copán. Honduras. (Archivo digital en Excel).
- SANAA (Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillado, HN). 2005. División de Occidente. Reporte de facturas del Período 01/2005. La Entrada, Copán. Honduras. 38 p.
- Scheaffer, RL; Mendenhall, W; Otto, L. 1990. Elementary survey sampling. The Duxbury advanced series in statistics and decision sciences. Massachusetts, US, PWS-KENT Publishing Company. 390 p.
- Spaninks, F; Kuik, O. 1997. Determination of the clue elements in the methodological design and execution of the field work made to estimate the economic benefits derived by ecological tourism in the conservation areas of Costa Rica. Contingent valuation: A brief review. IICE-SINAC-IVM. 53 p.



# La coordinación institucional y el manejo de los recursos naturales bajo el enfoque de cogestión adaptativa de cuencas en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua<sup>1</sup>

**René Pérez Carrasco<sup>2</sup>; Jorge Faustino<sup>3</sup>;  
Francisco Jiménez<sup>4</sup>; Cornelis Prins<sup>5</sup>.**

La cogestión de cuencas como enfoque de coordinación y concertación todavía está en proceso de desarrollo en la subcuenca del río Aguas Calientes. Se requiere de mayor participación colaborativa y compartida entre los actores claves y otras organizaciones no gubernamentales que forman parte del Comité, para lograr la sostenibilidad de los recursos naturales y del ambiente a corto, mediano y largo plazo.



Fotos: CATIE.

<sup>1</sup> Basado en Pérez Carrasco, RR. 2006. Análisis del proceso hacia la cogestión en la subcuenca del río Aguas Calientes, departamento de Madriz, Nicaragua. Turrialba, CR, CATIE. 135 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo Integrado de Cuencas, CATIE. rperez185@hotmail.com

<sup>3</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. faustino@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Grupo Bienes y Servicios Ambientales, CATIE. prins@catie.ac.cr

## Resumen

El presente estudio buscó analizar los cambios ocurridos en la subcuenca del río Aguas Calientes desde la ocurrencia del Huracán Mitch, en 1998, hasta el 2006, en cuanto a los mecanismos de asociatividad y de organización para el manejo de los recursos naturales. Un total de 18 actores directos realizan acciones en la subcuenca; sin embargo, brindan una atención desigual en relación con el número de familias por comunidad. Esto genera desigualdad en el desarrollo socioeconómico de las familias y en muchos casos limita la sostenibilidad institucional debido a la carencia de estrategias de colaboración entre los actores que trabajan en la misma zona.

Se evidenció la fragmentación en el liderazgo, lo que dificulta la participación y colaboración conjunta para la toma de decisiones a nivel comunitario. La cogestión de cuencas como enfoque de coordinación y concertación para el manejo de recursos naturales todavía está en proceso de desarrollo en la subcuenca del río Aguas Calientes y requiere de mayor participación de actores claves para su consolidación. El comité de cuencas podría ser el mecanismo que promueva una gobernanza sostenible y positiva de los recursos naturales.

**Palabras claves:** Cuencas hidrográficas; manejo de cuencas; recursos hídricos; gestión; gobierno local; participación comunitaria; río Aguas Calientes; Nicaragua.

## Summary

**Inter-institutional collaboration and natural resources management by watershed adaptive management in the Aguas Calientes river subwatershed, Nicaragua.** The purpose of this study was to analyze the changes occurred in the Aguas Calientes river subwatershed since Mitch Hurricane, in 1998, to 2006, in relation to the development of organizational and joint mechanisms for the natural resources management. Eighteen organizations are present in the subwatershed; nonetheless, efforts are unequally distributed among communities. That creates an uneven socio-economic development among families, and in many cases, it constrains the actions of organizations due to lack of collaborative strategies.

As a result of lack of a solid leadership in the subwatershed, participative and collaborative efforts for communitarian decision-making are deficient. Watershed adaptive management, as a coordinating strategy for natural resources management, is on its way in Aguas Calientes; for becoming an efficient and useful tool, it needs to secure participation of key actors in the region. The watershed committees could be that mechanism for promoting positive and sustainable governance of natural resources.

**Keywords:** Watershed; watershed management; hydric resources; management; local government; community participation; Aguas Calientes river; Nicaragua.

## Introducción

En Nicaragua, la responsabilidad del manejo de los recursos naturales tradicionalmente ha estado en manos del gobierno central. El estado ha tratado de impulsar programas con el propósito de reducir el deterioro y promover la recuperación de los recursos naturales vitales para la población, pero sin ningún meca-

nismo o estrategia organizativa que facilite la aplicabilidad del marco político-institucional existente. Sin embargo, la constitución política de 1995 y varias leyes establecen acciones de participación tripartita entre entidades del estado, gobiernos locales y la sociedad civil. Estas acciones han permitido la integración de los procesos de desarrollo local y nacional para mejorar las condi-

ciones de la población, otorgando y estableciendo responsabilidades a las diferentes instancias involucradas en el proceso. Ejemplo de ello son las estructuras conformadas al nivel del país, como los Comités de Desarrollo Departamental (CDD)<sup>6</sup> y los Comités de Desarrollo Municipal (CDM)<sup>7</sup>, los cuales están amparados por la Ley de Municipios de Nicaragua (Ley 240). De estas

<sup>6</sup> Conformados por diversos actores de los municipios; en especial, de los gobiernos locales.

<sup>7</sup> Conformados por el gobierno local y nacional, entidades no gubernamentales y personas no asociadas.

estructuras se derivan otras unidades con responsabilidades más específicas, como la Comisión Ambiental Municipal (CAM)<sup>8</sup>, para dar respuesta a demandas particulares y mejorar la gobernanza en el manejo los recursos naturales del país.

El presente estudio tuvo como propósito describir y analizar el proceso vivido en el departamento de Madriz en procura de lograr la sostenibilidad del manejo de los recursos naturales y el equilibrio socioeconómico para la población, a través de la creación de un comité de cuencas como entidad organizacional clave.

#### Localización del área de estudio

La investigación se realizó en la subcuenca del río Aguas Calientes, ubicada al norte del país en la región de las Segovias, departamento de Madriz. Geográficamente, está comprendida entre las coordenadas 13°24'10" y 13°29'28" de latitud norte y 86°34'12" y 86°39'39" de longitud oeste. El área total de la subcuenca es de 47,36 km<sup>2</sup>; allí se asientan comunidades, ocho de las cuales pertenecen al municipio de Somoto y dos al municipio de San Lucas, por lo que es una subcuenca bimunicipal (Fig. 1).

#### Procedimientos metodológicos

Se trató de determinar hasta qué grado se estaba cumpliendo el enfoque de cogestión de cuencas hidrográficas (Faustino et ál. 2007) en los municipios de Somoto y San Lucas. Se analizó el nivel de organización de los actores locales para la búsqueda y generación de alternativas sostenibles de gestión de recursos naturales en las cuencas. La idea es que dicho modelo sirva de ejemplo para la posible replicabilidad en el resto del país y en la región centroamericana. El desarrollo metodológico del estudio se realizó en tres etapas, utilizando

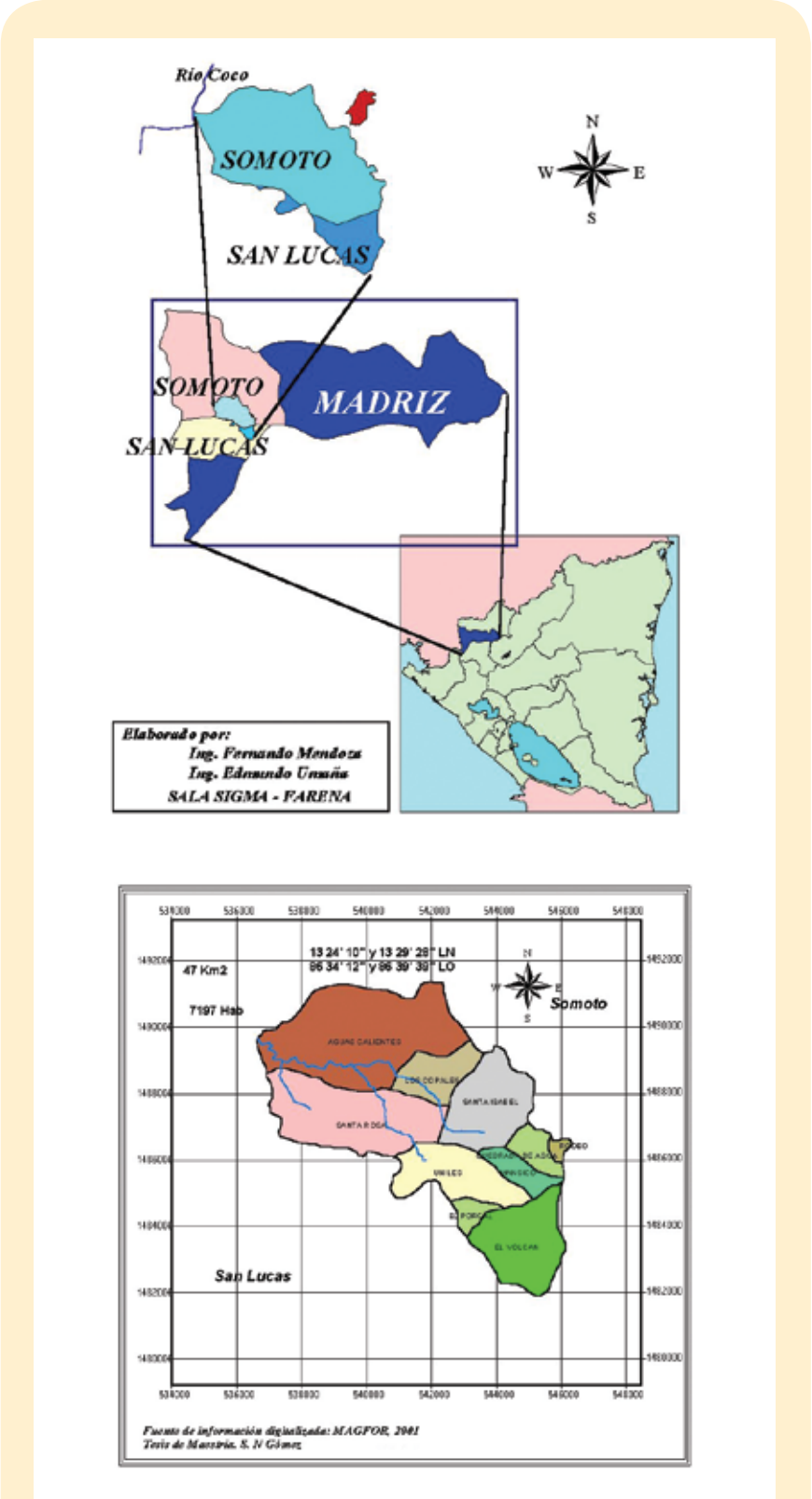


Figura 1. Localización de la subcuenca del río Aguas Calientes

<sup>8</sup> Estructura especial creada por la ley 240 para velar por el manejo de los recursos naturales del municipio.

diferentes herramientas participativas propuestas por Geilfus (1997) para la recopilación de información.

#### Etapas metodológicas del estudio *ETAPA I: Socialización del tema con actores locales*

Se identificaron los actores claves (instituciones estatales, ONG, sociedad civil) en ambos municipios; posteriormente, en colaboración con el programa “Innovación, Aprendizaje y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas” (Focuecas II) ejecutado por el CATIE, se organizó un taller para presentar y divulgar el tema de investigación. El taller permitió resaltar la importancia del estudio, aclarar dudas sobre su desarrollo y obtener colaboración técnica institucional para llevar a cabo la etapa de campo.

#### *ETAPA II: Levantamiento de información (etapa de campo)*

La recopilación de información se realizó en dos sectores principales: comunitario e institucional. **Al nivel comunitario** se realizaron cuatro talleres en el 100% de las comunidades que conforman la unidad hidrológica. Se promovió la participación de los habitantes integrados en los Comités de Agua Potable (CAP)<sup>9</sup> y Comités Comunales de Cuencas (CCC)<sup>10</sup>. La participación de los jóvenes se limitó a un 20%, debido a que se utilizarían tres herramientas participativas del diagnóstico rural propuestas por Geilfus (1997): línea del tiempo, diálogo semiestructurado y lluvia de ideas, las cuales son más apropiadas para personas adultas. También se aplicaron 120 encuestas estructuradas a los habitantes de la subcuenca para determinar el nivel de cumplimiento de los indicadores de cogestión propuestos por Faustino (2005). **Al nivel institucional** se realizaron dos talleres para reconstruir la historia del enfoque

de cuencas en la subcuenca del río Aguas Calientes, desde los primeros indicios del manejo de la subcuenca hasta la intervención del programa Focuecas II (1998 - 2006). Para ello se utilizó una metodología de sistematización de experiencias (Jara 1998, Berdegué et ál. 2000). El propósito fue de recuperar los elementos dispersos del proceso vivido y extraer lecciones aprendidas que sirvan de guía para replicar la experiencia.

Se identificaron actores y personalidades que han trabajado con el enfoque de cuencas como estrategia para el manejo de los recursos naturales; con ellos se realizó un taller para recopilar sus experiencias. También se aplicó un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) al Comité de Cuencas Bimunicipal de la subcuenca del río Aguas Calientes para identificar elementos críticos que se deben tomar en cuenta en la planificación del manejo de los recursos naturales bajo un enfoque de cogestión.

Mediante una entrevista estructurada a los actores institucionales, complementada con percepciones expresadas por actores de la comunidad, y triangulada con el aporte de los técnicos, se construyó la red institucional de la subcuenca por medio del diálogo semiestructurado. Este procedimiento metodológico permitió determinar el grado de asociatividad entre los actores que laboran en la subcuenca del río Aguas Calientes.

Se utilizó el programa UCINET 6.85 y NetDraw 1.48 para la generación de gráficos de relacionamiento institucional; los datos se organizaron en tablas Excel de doble entrada para determinar el grado de relacionamiento, producto de su nivel de densidad total según la cantidad de actores que la conforman (Gallegos 2005).

#### *ETAPA III: Procesamiento de información primaria y secundaria*

Una vez concluida la etapa de campo se realizó la síntesis, verificación y validación de la información mediante triangulación. También se clasificaron las variables de mayor relevancia para la investigación y se aplicó un análisis descriptivo a través de análisis de frecuencia y análisis de correspondencia, utilizando el programa estadístico Infostat.

#### **Resultados**

##### **El proceso vivido hasta la creación del Comité de Cuencas Bimunicipal de Aguas Calientes**

En los municipios de Somoto y San Lucas, los gobiernos municipales en conjunto con los demás actores de la sociedad, han venido impulsando mesas de negociación y concertación con la finalidad de plantear opciones para resolver la problemática socioeconómica y ambiental que afecta a sus pobladores. Sin embargo, estas soluciones no siempre han resultado en una medida permanente; se trata más que todo de soluciones circunstanciales para momentos particulares, e implementadas sin una visión de sostenibilidad. Ejemplo de esto es la CAM, cuya creación y conformación surgió por dos motivos: el deterioro ocasionado por la explotación irracional del suelo por el cultivo de tabaco en las riberas del río Coco y en varias comunidades de la subcuenca del río Aguas Calientes, y los daños ocasionados por el huracán Mitch en 1998. La CAM se ampara en la Ley de Municipios; sin embargo, la ley solamente creó la estructura y definió su conformación con representantes del sector estatal, gobierno local y ONG, pero no estableció mecanismos apropiados para su funcionamiento, ni el capital humano y financiero que permita dar seguimiento a los objetivos para los que fue creada.

<sup>9</sup> Estructura comunal encargada de la administración de las fuentes de agua que abastecen a la población.

<sup>10</sup> Estructura creada por el programa Focuecas II; su función es velar por los recursos naturales y el adecuado funcionamiento de las iniciativas locales en la subcuenca del río Aguas Calientes.

Las entrevistas semiestructuradas evidenciaron que el Comité de Cuencas Bimunicipal Aguas Calientes se creó casi de la misma manera, aunque había una preocupación directa debido al deterioro ocasionado por el huracán Mitch. Además, ya se contaba con el aporte de actores externos con conocimientos sobre el manejo de recursos naturales bajo el enfoque territorial de cuencas hidrográficas; entre ellos, el proyecto “Fortalecimiento de la Capacidad Local para el Manejo de Cuencas y Reducción de la Vulnerabilidad a Desastres” (Focuencas), financiado por la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (Asdi), el cual implementó un modelo espacial atípico de manejo de recursos en zonas que históricamente poseen un esquema hereditario de aplicación y administración por municipio.

Según los actores locales, la creación del comité ha traído algunas ventajas y beneficios, como las mayores responsabilidades asumidas por las instancias estatales y amplia participación de los actores que conforman la CAM de Somoto y otros actores del municipio de San

Lucas. No obstante, hay confusión en cuanto a la creación de estructuras multidisciplinarias con funciones y responsabilidades similares, lo cual genera el riesgo de conflictos de gobernanza institucional debido a desacuerdos sobre las funciones y obligaciones que le competen a cada estructura. Asimismo, se corre el riesgo de generar una asistencia y atención sectorizada hacia la unidad hidrológica, con lo que otras áreas geográficas en cada municipio quedarían desatendidas.

#### Conformación institucional del Comité de Cuencas Bimunicipal y participación de los actores locales

El Comité de Cuencas Bimunicipal Aguas Calientes está conformado, entre otros, por los gobiernos municipales de Somoto y San Lucas, instancias estatales, ONG y sector privado. El Comité posee una estructura organizativa jerárquica (Fig. 2). Esta estructura sería la encargada de liderar el proceso de manejo de los recursos naturales de la subcuenca del río Aguas Calientes, como unidad básica de planificación. El objetivo es generar iniciativas sostenibles y aplicables para el desarrollo del programa Focuencas II en esta cuenca laboratorio. La Asamblea General es la máxima autoridad, la cual está conformada por todos los actores que se encuentran en ambos municipios, sin exclusión alguna. La Junta Directiva es la estructura de dirección y administración de los recursos humanos y financieros, y está conformada de la siguiente manera: los dos gobiernos locales que lideran el proceso, cuatro instancias del estado, dos organizaciones no gubernamentales y un actor del sector privado.

Desde su creación en el 2004, el comité ha venido experimentando cambios administrativos, incluyendo dos de junta directiva, como parte de un proceso de organización y colaboración conjunta denominado “cogestión adaptativa”. De un total de 28 actores identificados en ambos municipios, solo el 21% ha participado de manera directa con el programa Focuencas II en la ejecución de proyectos; el 17% de ellos son miembros de la junta directiva. Es evidente que el manejo integrado de cuencas hidrográficas en la subcuenca está en manos de los

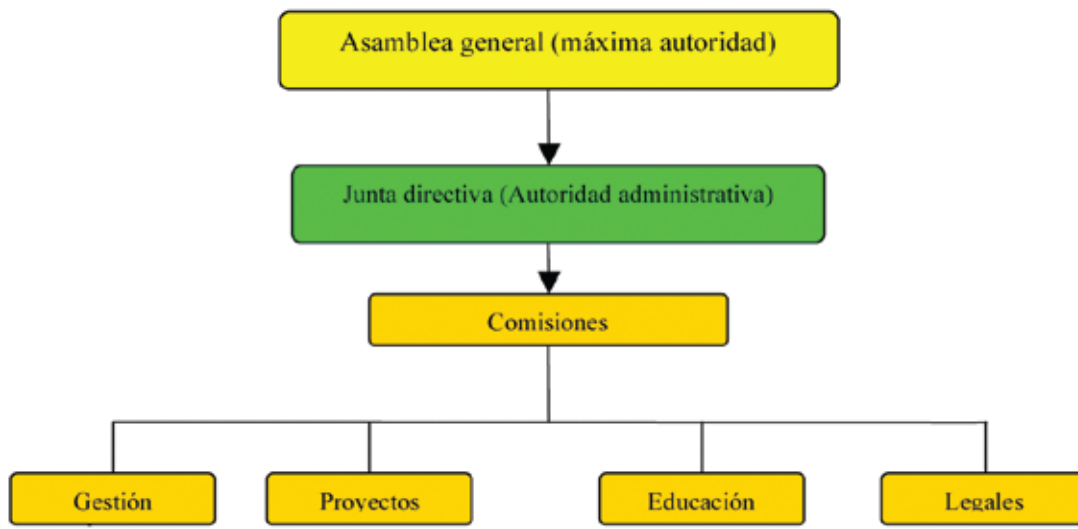


Figura 2. Órganos que conforman el Comité de Cuencas del río Aguas Calientes

nueve directivos, lo que reduce la capacidad de acción por la falta de colaboración del resto de actores en la zona. Tampoco se cuenta con el apoyo de otros organismos como el Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR) y el Instituto Nacional Forestal (INAFOR). Estas instituciones son las encargadas de normar, regular y crear las políticas ambientales, por lo que su participación es de importancia capital. Es claro, entonces, que el manejo de cuencas hidrográficas en esta subcuenca carece de estrategias institucionales prácticas y viables que garanticen la participación activa de diferentes actores. Esto tiene como consecuencia que no se puedan lograr objetivos comunes, tales como la conservación y aprovechamiento racional del agua y de los otros recursos naturales, lo que limita la generación de externalidades positivas para la replicación de experiencias en otras unidades hidrológicas.

Por otra parte, es justo reconocer que, en Nicaragua, son las instancias del estado las que poseen menor capital humano y financiero para desempeñar sus funciones, lo que dificulta el proceso de implementación de acciones biofísicas *in situ*. La falta de colaboración de los actores en ese proceso de co-gestión de la cuenca se le atribuye a que la participación se da de manera voluntaria, sin ninguna remuneración financiera. Para muchos de los actores, su participación es insostenible pues no pueden asumir responsabilidades operativas de manejo de cuencas con fondos propios. Por ello, es necesario generar estrategias locales de participación y sostenibilidad, partiendo de la población beneficiada con el agua para consumo humano como la fuente de financiamiento y las instancias recaudadoras como las unidades ejecutoras de acciones. Ese financiamiento se podría lograr con la creación de tasas e impuestos sobre el aprovechamiento hídrico, tomando en cuenta que el vital líquido se

**Cuadro 1.**  
Total actores por comunidad en la subcuenca de río Aguas Calientes

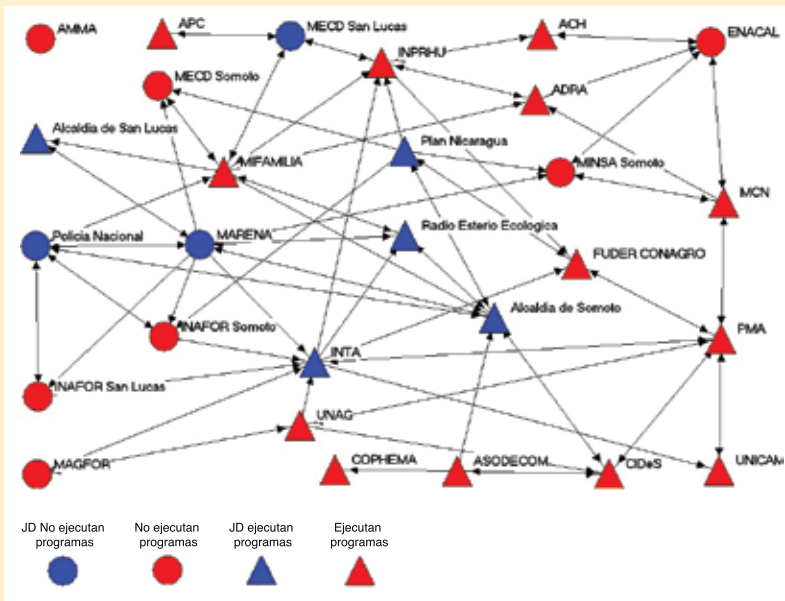
Comunidad	Número de actores	Familias
Volcán	11	114
Porcal	7	122
Mansico	8	82
Rodeo	10	48
Quebrada de Agua	8	76
Uniles	10	262
Santa Isabel	6	334
Santa Rosa	9	186
Los Copales	5	77
Aguas Calientes	8	178

obtiene de áreas externas al casco urbano de la ciudad de Somoto, el principal centro poblado de la subcuenca del río Aguas Calientes.

**Intervención de actores en la subcuenca y grado de asociatividad como estrategia de desarrollo local**

Hay un total de 18 actores con acciones directas en la subcuenca,

distribuidos en las diferentes comunidades y con un número variable de familias por comunidad (Cuadro 1). De esos actores, el 39% corresponden a ONG, 11% a organismos del estado y sólo un 7% a gobiernos locales y sector privado. La alta incidencia de organismos no gubernamentales, tanto nacionales como extranjeros, evidencia que en la unidad hidrológica se da una fuerte



**Figura 3.** Red de relacionamiento institucional en la subcuenca del río Aguas Caliente

colaboración en diversos programas sociales y productivos. Esto implica una gran complejidad para lograr la cohesión de intereses relacionados con la cogestión de cuencas; se hace necesario, entonces, conocer el contexto en el que cada uno de los actores se inserta, los criterios de intervención y la cobertura de necesidades.

La mayoría de los actores que laboran de manera directa e indirecta en la subcuenca tienen algún grado de relación institucional dentro del municipio como territorio de interacción y no dentro de la cuenca hidrográfica; esto dificulta la implementación de estrategias institucionales que permitan el logro de los objetivos a nivel de toda la cuenca. El estudio de la red de relacionamiento institucional en la subcuenca (Fig. 3) mostró el grado de interacción entre los 28 actores con incidencia directa o indirecta en la subcuenca. La densidad de relación<sup>11</sup> obtenida fue del 17%, a partir de la influencia de seis aspectos que caracterizan las posibles relaciones que los actores establecen en la zona para lograr sus objetivos institucionales (Cuadro 2). Este porcentaje es muy bajo tomando en cuenta la cantidad de actores y las limitaciones en cuanto a capital humano y financiero; por ende, este es un ejemplo de implementación de programas con muy baja sostenibilidad institucional debido a la escasa colaboración y nivel organizativo de los actores. Esto sugiere que el enfoque de cogestión adaptativa en cuencas hidrográficas en esta zona requiere de más tiempo y esfuerzos para potenciar la incidencia de la asociatividad institucional y organizacional. Por su pobreza de capital humano, es claro que las instancias y programas estatales son los que deben establecer el mayor grado de asociatividad con otros actores para lograr sus metas.



Foto: René Pérez.

**Figura 4.** Procesos de deforestación en zonas críticas de la parte media subcuenca del río Aguas Calientes, Comunidad Los Copales

**Cuadro 2.** Densidad de relación en la subcuenca del río Aguas Calientes

Elementos	Densidad de relación (%)	Desviación estándar
Capacitación	4,89	0,22
Seguimiento de programas	6,08	0,24
Asistencia técnica	2,12	0,14
Financiamiento	2,38	0,15
Intercambio de experiencia	1,46	0,12
Comercialización	0,79	0,09

#### Dificultades para aplicar la normativa legal en las condiciones socioambientales de la subcuenca

Con el fin de implementar el manejo de cuencas en la subcuenca del río Aguas Calientes se han creado cuerpos organizativos denominados Comités Comunales de Cuencas, compuestos por organizaciones de base en cada una de las comunidades ubicadas dentro de la unidad hidrológica. Los CCC son responsables de velar por el buen uso y manejo de los recursos naturales y por la gestión participativa para la

planificación y ejecución de programas. Sin embargo, la creación de estas estructuras ha provocado roces con otras estructuras constituidas en los municipios, como los Comités Comunales, creados al amparo de la Ley de Municipios pero con responsabilidades muy generales. Dichos comités consideran que se están usurpando sus atribuciones en el manejo de los recursos naturales y creando discrepancias en cuanto a la gobernanza institucional a nivel de comunidades.

La mayor parte de los organismos estatales tienen comunicación

<sup>11</sup> La densidad de relación muestra el valor en porcentaje de la densidad de la red; es decir, la alta o baja conectividad como medida expresada en porcentaje del cociente entre el número de relaciones existentes entre el posible.

directa con los comités comunales y no con los CCC, lo que afecta la funcionalidad de estos últimos. El INAFOR, por ejemplo, se relaciona directamente con los alcalditos auxiliares, que son la figura representativa en la comunidad para la toma de decisiones en torno al aprovechamiento de los recursos naturales, pero muchos de ellos no forman parte de los CCC; esto ocasiona inconsistencias de criterios y de acciones que afectan directamente el manejo sostenible de los recursos naturales, tales como la utilización de recursos maderables en zonas con limitaciones de cobertura vegetal (Fig. 4).

El 41% de los habitantes de la subcuenca consideran que las decisiones están muy centralizadas en los representantes comunales (alcalditos) - quienes con frecuencia toman decisiones para su conveniencia personal - lo que limita la pluralidad en torno a las demandas y respuestas para el bienestar general. Esto muestra inconsistencias organizativas en dos sentidos: uno a nivel institucional, que involucra al Comité Bimunicipal Aguas Calientes, tiene que ver con la falta de comunicación y de aplicación del enfoque como una estrategia en común; otro a nivel comunitario, donde las diferencias internas por el poder y dominio local hacen más compleja la intervención y aplicación de normativas nacionales y locales. Esto supone un fuerte desafío para lograr la consolidación del enfoque de gestión de cuencas en la zona.

### Lecciones aprendidas

- Aunque ha existido buena voluntad para enfrentar la problemática de degradación de los recursos

Aunque ha existido buena voluntad para enfrentar la problemática de degradación de los recursos naturales en la subcuenca, las acciones y decisiones tomadas no corresponden con la urgencia y necesidad local; falta mayor claridad en la visión y los objetivos y mayor disponibilidad de recursos humanos y económicos.

naturales en la subcuenca, las acciones y decisiones tomadas no corresponden con la urgencia y necesidad local; falta mayor claridad en la visión y los objetivos y mayor disponibilidad de recursos humanos y económicos. Esto ha llevado a la búsqueda de otros mecanismos de institucionalidad, como el comité de cuencas, para reforzar el empoderamiento local con responsabilidad, mediante una acción conjunta, colaborativa y participativa de los actores locales.

- Durante la ejecución de Focucenas II, el compromiso de organización y ejecución de acciones biofísicas para el manejo de los recursos naturales en las cuencas hidrográficas ha estado bajo la responsabilidad de la junta directiva del Comité de Cuencas, con poca o nula colaboración y participación de los miembros de la asamblea general.

- La cogestión de cuencas como enfoque de coordinación y concertación todavía está en proceso de desarrollo en la subcuenca del río Aguas Calientes. Se requiere de mayor participación colaborativa y compartida entre los actores claves, como INAFOR y MAGFOR y otras organizaciones no gubernamentales que forman parte del Comité, para lograr la sostenibilidad de los recursos naturales y del ambiente a corto, mediano y largo plazo. Estos actores claves deben asumir papeles más proactivos dentro del Comité de Cuencas, por su capacidad decisoria y disponibilidad de capital humano y financiero, muchas veces superior a las instancias del Estado y de los gobiernos locales.

- Existe un total de 18 actores directos que realizan acciones en la subcuenca; sin embargo, hay una distribución desigual de los servicios que prestan en relación con el número de familias en cada comunidad. Esto genera desigualdad en el desarrollo socioeconómico de las familias y en muchos casos limita la sostenibilidad institucional debido a la carencia de estrategias de colaboración entre los actores que trabajan en una misma zona.

- El liderazgo en la subcuenca del río Aguas Calientes se encuentra fragmentado debido a divergencias políticas que impiden un desarrollo socioeconómico y ambiental de manera equitativa. Esto influye negativamente en la participación y colaboración conjunta para la toma de decisiones a nivel comunitario.

### Literatura citada

- Berdegué, JA; Ocampo, A; Escobar, G. 2000. Sistematización de experiencias locales de desarrollo agrícola rural. sl., FIDAMERICA - PREVAL. 24 p.
- Faustino, J. 2005. Taller Nacional de Cogestión de Cuencas Hidrográficas. Tegucigalpa, HN. 17 p.
- Jara, O. 1998. Para sistematizar experiencias: una propuesta teórica y práctica. San José, CR, Centro de Estudios y Publicaciones Alforja. 87 p.
- Gallegos, N. 2005. Manual introductorio al análisis de redes sociales: ejemplos prácticos con UCINET 6.85 y NETDRAW 1.48. Universidad Autónoma del Estado de México. 45 p.
- Geilfus, F. 1997. 80 Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. San Salvador, SV, IICA. 208 p.



# Evaluación participativa de forrajes promisorios para zonas secas y su posible impacto en los recursos naturales de la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua<sup>1</sup>

**Arlen Payán<sup>2</sup>; Francisco Jiménez<sup>3</sup>;  
Muhammad Ibrahim<sup>4</sup>;  
Fernando Casanoves<sup>5</sup>**

Los forrajes evaluados responden a las necesidades de los productores, ya que permiten mejorar la alimentación de los bovinos en épocas críticas, recuperar pasturas que se encuentran en estado avanzado de degradación y tener opciones viables ante las escasas condiciones de establecer forrajes bajo riego.



Foto: Arlen Payán.

<sup>1</sup> Basado en Payán, A. 2006. Evaluación participativa de forrajes mejorados para el manejo sostenible de los recursos naturales en la subcuenca del río Jucuapa Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo Integrado de Cuencas, CATIE. apayan@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Grupo Ganadería y Manejo del Medio Ambiente, CATIE. mibrahim@catie.ac.cr

<sup>5</sup> Unidad de Bioestadística, CATIE. casanove@catie.ac.cr

## Resumen

Se desarrolló un proceso de investigación-acción con productores ganaderos y funcionarios, con el fin de evaluar el comportamiento y el potencial de dos pasturas y una leguminosa para mejorar la calidad y cantidad de alimento para el ganado, reducir la degradación de los recursos naturales y favorecer las condiciones socioeconómicas de los productores ganaderos en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Las especies evaluadas fueron las pasturas *Brachiaria brizantha* x *Brachiaria ruziziensis* y *Brachiaria brizantha* y la leguminosa *Cratylia argentea* bajo dos sistemas de siembra: trasplante y siembra directa. La metodología participativa incluyó: establecimiento de parcelas demostrativas, días de campo, entrevistas y un taller participativo. Ambos tipos de actores coinciden en que los forrajes establecidos por trasplante producen mejores resultados en cuanto a crecimiento, producción y protección. Este último aspecto puede contribuir a largo plazo al mejoramiento del paisaje de la subcuenca. Los productores ganaderos mostraron mucho interés en continuar con el establecimiento de *B. brizantha* x *B. ruziziensis* y *B. brizantha* y un menor interés en *C. argentea*. En general, los productores requieren de apoyo económico para facilitar el proceso de incorporación y adopción de forrajes mejorados.

**Palabras claves:** Forrajes; *Brachiaria brizantha*; *Brachiaria ruziziensis*; *Cratylia argentea*; nutrición animal; valor nutritivo; investigación participativa; río Jucuapa; Nicaragua.

## Summary

**Participative evaluation of promising forage crops for dry zones, and expected impacts on natural resources in Jucuapa River subwatershed, Nicaragua.** A participative action-research process was developed with participation of farmers and institutional officers in Jucuapa River subwatershed, Nicaragua, with the purpose of evaluating the behavior and potential of two pastures and a leguminous for improving the quality and quantity of cattle feeding, reducing natural resources degradation, and improving livelihood conditions. The species evaluated were the pastures *Brachiaria brizantha* x *Brachiaria ruziziensis* and *Brachiaria brizantha*, and the leguminous *Cratylia argentea*; two planting system (transplant and direct planting) were evaluated.

The participative methodology included the establishment of demonstrative plots, field trips, interviews, and a participative workshop. Both types of actors agree on the transplant planting system as giving better results on growing, production, and protection to watershed. This last feature could contribute in the long run to improved landscapes in the subwatershed. Farmers were highly interested on *B. brizantha* x *B. ruziziensis* and *B. brizantha*, but less interested on *C. argentea*. In general, producers need financial support to incorporate and adopt improved forages.

**Keywords:** Forage; *Brachiaria brizantha*; *Brachiaria ruziziensis*; *Cratylia argentea*; animal nutrition; nutritive value; participative research; Jucuapa river; Nicaragua.

## Introducción

En América Central, más del 50% de las pasturas se encuentran en estado avanzado de degradación (Szott et ál. 2000). Este proceso de degradación está ligado a factores como el establecimiento de pasturas en tierras frágiles, pobre adaptación, sobrepastoreo, agotamiento de nutrientes, quema

no controlada y frecuente (Spain et ál. 1991). En la subcuenca del río Jucuapa en Nicaragua, el 33% de las familias se dedican a la actividad ganadera. Las pasturas más utilizadas de manera extensiva son jaragua (*Hyparrhenia rufa*) y grama natural (*Cynodon dactylon*). La subcuenca presenta un periodo prolongado de sequía de al menos seis meses, con

pérdida casi total de la cobertura vegetal herbácea (Morales 2003); esta condición, junto con prácticas inadecuadas de manejo, hacen que la degradación de los pastos se haya acelerado (Ibrahim 2005). En consecuencia, se reduce la biomasa aérea necesaria para la alimentación de los animales, se limita el papel de la cobertura vegetal como disipador

de la energía cinética de las gotas de lluvia - principalmente al inicio del periodo pluviométrico, aumenta la escorrentía superficial y se reduce la biomasa radicular y con ello la resistencia mecánica del suelo. Esta situación contribuye a aumentar la velocidad del escurrimiento, la vulnerabilidad de los suelos a la erosión y la susceptibilidad a las inundaciones (Jiménez 2005).

Ante este escenario, es importante contribuir a que las familias productoras dedicadas a la actividad ganadera evalúen las posibilidades de mejorar sus sistemas de producción con forrajes de calidad. De acuerdo con los avances tecnológicos, especies con potencial de adaptación a las condiciones climáticas de la subcuenca son las pasturas *B. brizantha x B. ruziziensis* y *B. brizantha* y la leguminosa *C. argentea*. Ambas pasturas representan una alternativa promisoriosa para la zona ya que soportan el pastoreo intensivo y cargas animales altas, son de recuperación rápida, tienen alto valor nutritivo y amplio rango de adaptación a clima y suelos, tienen buena producción de forraje en época crítica (seca) lo que permite una cobertura permanente sobre el suelo que reduce la escorrentía superficial y promueve la infiltración. Por su parte, *C. argentea* se adapta a suelos de baja fertilidad, tiene alta tolerancia a la sequía debido a que permanece verde y rebrota en sequías prolongadas de 6 a 7 meses, tolera el fuego y tiene un alto valor nutritivo (Peters et ál. 2003).

Una alternativa para alentar a los productores a adoptar pasturas y leguminosas mejoradas es demostrar sus ventajas mediante pruebas en fincas (Lascano et ál. 1997). Las metodologías participativas que permitan retroalimentar la investigación mediante el análisis que hacen los productores de las tecnologías en prueba son de gran ayuda en estos casos (Ashby 1997). El objetivo del estudio fue desarrollar un proceso de

investigación-acción con productores ganaderos de la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua, con el fin de evaluar el comportamiento de forrajes mejorados y su potencial para mejorar la cantidad y calidad de la alimentación del ganado, reducir la degradación de los recursos naturales y favorecer las condiciones socioeconómicas de los productores de la zona.

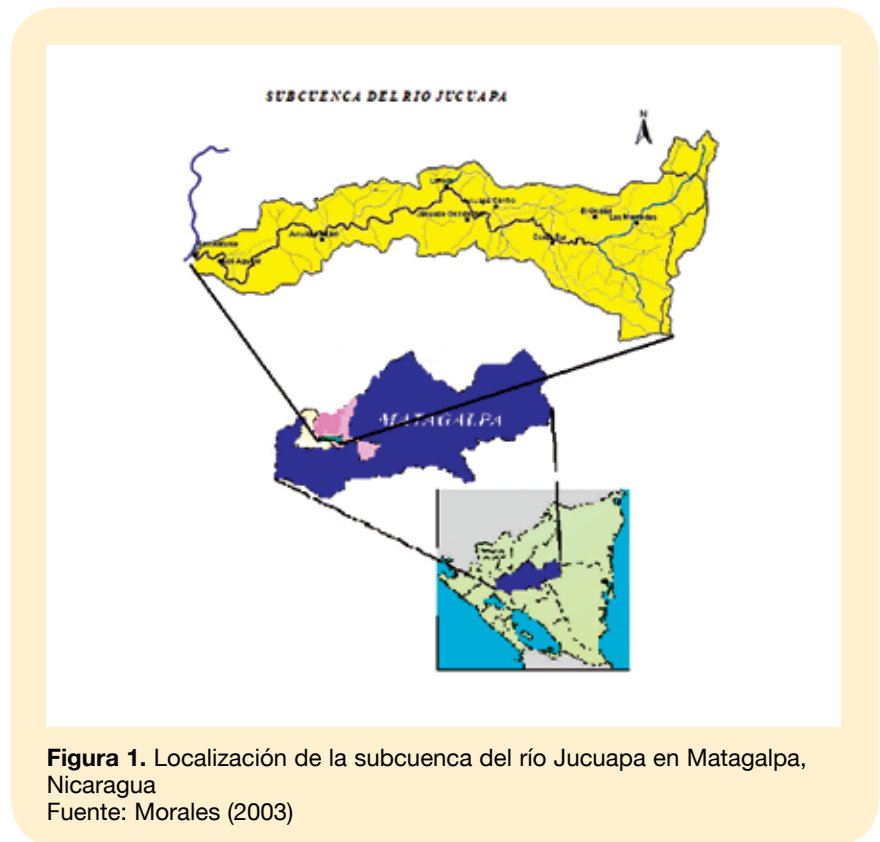
#### El sitio de estudio

El estudio se realizó en la subcuenca del río de Jucuapa (12°50'06" y 12°53'35" de latitud norte 86°02'30" y 85°53'38" de longitud oeste), departamento de Matagalpa, Nicaragua (Fig. 1). Esta es una subcuenca típica de montaña, con altitudes que varían entre 500 y 1400 msnm, pendientes entre 15 y 30%, temperatura media de 22°C a 26°C. La precipitación media anual es de 1164 mm, con seis meses de periodo seco; sin embargo, en la parte media y en la totalidad de la parte baja de la subcuenca ocurren

precipitaciones menores de 800 mm anuales (Morales 2003). En la subcuenca hay siete asentamientos donde habitan 792 familias, 83,5% de las cuales se ubican en la parte media. El 48% del total de familias caen en la categoría de pobres y el 40% en la de muy pobres. Según datos del Banco Mundial, el salario diario por persona es de US\$2. El tamaño promedio de las fincas está entre 0,7 y 3,5 ha (Baldodano 2005), la tenencia promedio de animales es de tres a cinco cabezas por familia. La estrategia principal de supervivencia está basada en la ganadería y la diversificación de cultivos, principalmente maíz, frijol y sorgo.

#### Grupo meta y parcelas de difusión

En un taller realizado en mayo del 2005 en la comunidad de Jucuapa centro, se presentó la propuesta de investigar el desarrollo de las especies forrajeras *B. brizantha x B. ruziziensis* y *C. argentea*, establecidas por siembra directa y por



**Figura 1.** Localización de la subcuenca del río Jucuapa en Matagalpa, Nicaragua  
Fuente: Morales (2003)

transplante. Seis de los productores ganaderos participantes en el taller aceptaron establecer en junio del 2005, parcelas de *B. brizantha* x *B. ruziziensis* y *C. argentea*, de 1000 m<sup>2</sup> y 500 m<sup>2</sup>, respectivamente, bajo ambos sistemas de siembra. Uno de los seis productores incluyó también parcelas de referencia para el estudio participativo. Así, se estableció una parcela de *B. brizantha* (mediante ambos sistemas de siembra) y otra de *H. rufa* (siembra directa). *B. brizantha* es una pastura de introducción reciente, pero algunos ganaderos ya tienen algún conocimiento sobre la misma. *H. rufa* se incluyó debido a que ha sido utilizada por mucho tiempo en la zona, razón por la cual los ganaderos tienen un amplio conocimiento sobre el comportamiento ecológico y productivo de la misma.

El objetivo de las parcelas era obtener la opinión y observaciones de 20 actores de la parte alta, media y baja de la subcuenca del río Jucuapa, sobre el crecimiento y producción de forraje durante el periodo seco, características físicas del follaje, ventajas y desventajas de cada sistema de establecimiento, necesidades de mano de obra, costos de establecimiento, permanencia verde, condiciones de humedad, cobertura del suelo durante la época seca, efectos favorables o desfavorables para el manejo de los recursos naturales y del ambiente de la subcuenca en la época seca y en la época lluviosa.

#### Determinación de la percepción de los productores ganaderos y de los técnicos sobre los forrajes estudiados

Con el fin de que los actores locales y productores ganaderos de la subcuenca pudieran observar el desarrollo de los forrajes bajo los dos sistemas de siembra, tanto en la época de sequía como en la lluviosa, se realizaron cinco días de campo. Además se hicieron entrevistas a 19 productores ganaderos de la parte

alta, media y baja de la subcuenca y a siete representantes de instituciones. Las entrevistas a los representantes de las instituciones tenían como principal objetivo conocer sus percepciones sobre el crecimiento de los forrajes y la posición a futuro de las instituciones respecto a los forrajes evaluados. Las entrevistas a los productores permitieron conocer sus percepciones sobre diferentes aspectos de los forrajes evaluados. A partir de los resultados se realizó un análisis descriptivo de la información obtenida.

La validación de los resultados de las dos actividades (días de campo y entrevistas) se realizó mediante un taller participativo. La metodología usada en el taller fue la técnica de diálogo, observación y dinámica de aplicación general: lluvia de ideas (Geilfus 2000). Se realizó una breve descripción del proceso de evaluación participativa de los forrajes para el manejo sostenible de los recursos naturales en la subcuenca del río Jucuapa, luego se introdujo la siguiente pregunta abierta: ¿Al introducir pastos como *B. brizantha* x *B. ruziziensis* y leguminosas como *C. argentea*, qué cambios positivos y negativos se lograrían a nivel de su familia (finca) y de su comunidad (subcuenca)? Las respuestas se obtuvieron por subgrupos y recolectadas en tarjetas para discutir la información obtenida y triangular la información con las entrevistas y días de campo.

#### Resultados y discusión

Percepción de los productores ganaderos y técnicos de las instituciones sobre los efectos ambientales y socioeconómicos de los forrajes mejorados en la subcuenca del río Jucuapa

##### 1. Desarrollo de forrajes mejorados

Los productores ganaderos opinaron que la pastura *B. brizantha* presentó un mejor crecimiento de raíces, seguido por *B. brizantha* x *B. ruziziensis* (Fig. 2). Ellos relacionan esta característica fisiológica del pasto mejorado

con la mayor densidad y profundidad radicular que observaron en estas pasturas en los distintos días de campo. Ellos consideran que estas características son las que les permiten a estas pasturas competir con las malezas, ser resistentes al pisoteo y sobrevivir en épocas críticas. También indicaron que este comportamiento puede contribuir a mejorar la absorción de agua y nutrientes y la producción de forraje. La percepción que tuvieron los productores ganaderos sobre el desarrollo del pasto mulato concuerda con las características descritas por Peters et ál. (2003), quienes mencionan que esta pastura tiene alta tolerancia a la sequía, ya que permanece verde y rebrota en sequías de hasta siete meses. En cuanto a la interacción del pasto mejorado con la cobertura arbórea, ellos mencionaron que estas pasturas permiten el crecimiento de especies arbóreas, posiblemente porque el estrato de suelo que exploran las pasturas mejoradas difiere de las capas de suelo exploradas por las especies arbóreas.

Con respecto a *H. rufa*, los productores mencionaron como puntos negativos que se seca en la época seca, tiene menor densidad de raíces y estas son más débiles que las de las pasturas mejoradas. A su entender, estas características son las que limitan la resistencia al pisoteo y la producción de forraje de calidad y en cantidad, principalmente durante los periodos de sequía prolongada que caracterizan la zona.

En cuanto a la suavidad de tallos en la etapa adulta, los productores coincidieron en que las pasturas mejoradas poseen tallos más suaves que *H. rufa*, característica que favorece el mayor consumo por parte del hato bovino.

El conjunto de opiniones emitidas por los productores indican el grado de aceptación de las pasturas mejoradas. Sin embargo, también manifestaron su preocupación por el posible empobrecimiento del suelo provocado por las pasturas mejoradas, ya que

son pastos vigorosos que extraen muchos nutrientes del suelo, lo que significa un riesgo si no se realiza algún tipo de fertilización. Para ellos, la mejor opción es el abono orgánico que pueden producir en sus fincas y no tendrían que incurrir en gastos directos cuantiosos.

Los productores ganaderos opinan que *C. argentea*, además de sus cualidades como forraje, es un tipo de reforestación arbustiva con funciones similares a la vegetación arbórea, tales como protección al suelo de la lluvia directa, reducción de la erosión y retención de humedad en el suelo. A esto hay que agregar todas las otras funciones que cumple la vegetación, tales como regulación microclimática, biodiversidad, belleza escénica, etc. *C. argentea* produjo ramas y rebrotes durante la época seca; por ello, los productores consideran que esta leguminosa es resistente a la sequía prolongada que caracteriza a la subcuenca. Ya antes, Peters et ál. (2003) habían hecho señalamientos parecidos.

Según los productores ganaderos, el sistema de siembra por trasplante es más adecuado, ya que les permite establecer los bancos de forrajes con un mes de anticipación a la entrada de la época de lluvias; esto significa un mes de ganancia en el crecimiento de los forrajes, lo que a su vez les permite aprovechar más eficientemente los escasos meses de lluvia que se presentan en la subcuenca y asegurar un buen establecimiento de las praderas durante el resto del periodo.

## 2. Efectos de los forrajes mejorados en la conservación de agua y suelos

La mayoría de los productores ganaderos opinaron que los forrajes mejorados establecidos por trasplante retienen mejor el suelo y, por ende, la humedad desde las primeras lluvias y durante todo este periodo, en comparación con la pastura nativa. Ellos consideran que este sistema de

siembra fue determinante para asegurar una buena cobertura del suelo. Asimismo, piensan que el excedente de forraje producido en la época crítica por las especies introducidas sería un incentivo para liberar áreas que se pudieran dedicar a la protección de las fuentes de agua. Esta percepción del efecto de las pasturas mejoradas sobre el estado de los recursos naturales coincide con lo mencionado por Holman (1999), quien manifiesta que el mejoramiento de las pasturas en Perú, Costa Rica y Nicaragua permitiría reducir el pastoreo en áreas escarpadas y, en consecuencia, la presión sobre el bosque.

Los técnicos consideran que la adopción de los forrajes evaluados responde a un cambio a nivel de finca, el cual afecta el estado de la subcuenca. A largo plazo, esto implicaría mejoramientos en el paisaje de la subcuenca del río Jucuapa, principalmente en épocas críticas cuando las pasturas nativas se lignifican por estrés hídrico.

## 3. Efecto de los forrajes mejorados en las condiciones de vida

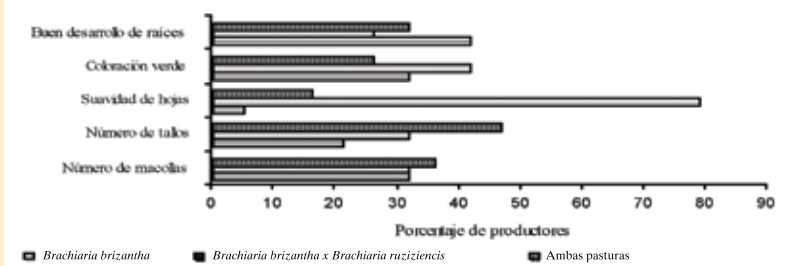
Los productores ganaderos opinaron que la economía de la familia puede mejorar con el incremento de los ingresos obtenidos por una mejor respuesta en la producción animal (leche y carne) al incorporar especies mejoradas de forrajes. Los productores que incorporaron las parcelas de forrajes mejorados

en sus fincas obtuvieron resultados positivos en sus sistemas de producción, lo cual podría motivar a los demás productores para que incorporen forrajes mejorados en sus fincas. Sin embargo, ellos consideran que el alto costo de establecimiento es un factor que afecta de forma negativa la adopción en gran escala.

Los técnicos, por su parte, manifestaron que los forrajes evaluados responden a las necesidades de los productores ganaderos, ya que permiten mejorar la alimentación de bovinos en épocas críticas, recuperar pasturas que se encuentran en estado avanzado de degradación y tener opciones viables ante las escasas condiciones de establecer forrajes bajo riego. Ellos consideran que estos factores afectan positivamente los rendimientos de producción del sistema y, por ende, las condiciones económicas de los productores. Otro factor que los técnicos identifican como crítico en la subcuenca es el tamaño pequeño de las propiedades, donde la incorporación de forrajes mejorados permitiría utilizar los terrenos de forma más eficiente.

## 4. Expectativas para la adopción de forrajes mejorados

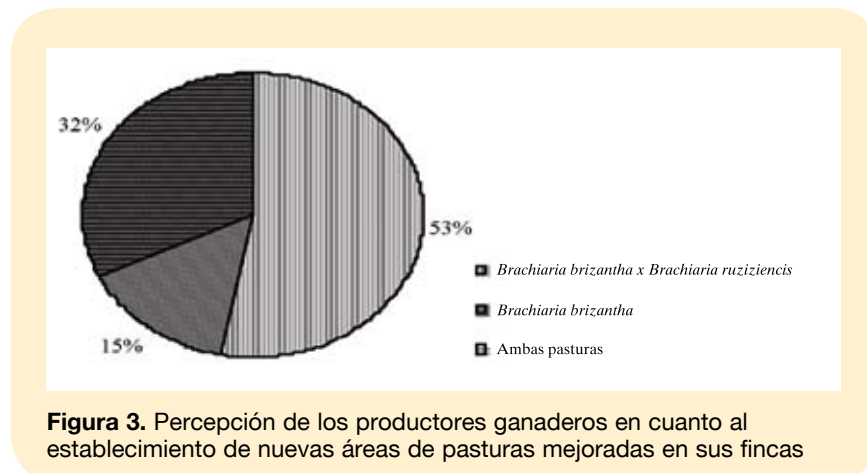
Todos los productores ganaderos están dispuestos a continuar con el establecimiento de pasturas mejoradas: el 53% están dispuestos a establecer *B. brizantha* × *B. ruziziensis*, el 15% *B. brizantha* y



**Figura 2.** Percepción de los productores ganaderos sobre diferentes características de las pasturas mejoradas (*B. brizantha* × *B. ruziziensis* y *B. brizantha*) evaluadas en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua

el 32 % respondió que cualquiera de los dos pasturas mejoradas (Fig. 3). El 91% de los productores mostraron interés por continuar con *C. argentea*. No obstante, todos ellos manifestaron su necesidad de recibir ayuda para establecer nuevas parcelas de pasturas y leguminosa: el 36% requieren ayuda técnica y económica y el 64% necesitan ayuda financiera, pues el conocimiento técnico ya lo han adquirido durante el proceso de investigación-acción. La ayuda financiera consistiría en insumos para establecer otras áreas.

Después de haber participado en el proceso de investigación-acción, los técnicos mencionaron estar dispuestos a darle seguimiento a las parcelas existentes, utilizándolas como unidades de difusión tecnológica (uso y manejo de los forrajes), a establecer nuevas parcelas y a colaborar con un banco comunitario de semilla de forrajes mejorados. La introducción de forrajes mejorados en la finca contribuye al buen manejo de la subcuenca, pero se debe de generalizar



**Figura 3.** Percepción de los productores ganaderos en cuanto al establecimiento de nuevas áreas de pasturas mejoradas en sus fincas

la difusión de estos forrajes para tener un mayor impacto en el paisaje, principalmente en la época seca.

### Conclusiones

■ Según los productores ganaderos la mayor producción de biomasa que se obtiene de los forrajes mejorados en la época crítica es un incentivo para mantener áreas de protección a las fuentes de agua que están en sus propiedades.

- Según los técnicos el uso de los forrajes evaluados responde a un cambio a nivel de finca, el cual afecta el estado de la subcuenca. Lo anterior significa que a largo plazo se puede mejorar el paisaje de la subcuenca, principalmente en épocas críticas, cuando las pasturas nativas se secan.
- Los productores y técnicos indicaron que la inclusión de los forrajes mejorados evaluados favorecen y mejoran la respuesta productiva del hato ganadero, afectando favorablemente la rentabilidad del sistema de producción y con ello el bienestar de las familias.

### Literatura citada

Ashby, J; García, T; Hernández, L. 1997. La investigación participativa con productores: Una metodología orientada a la vinculación temprana y activa de los destinatarios potenciales de las tecnologías. *In* Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Cali, CO, CIAT. Consorcio Tropicoleche. 285 p.

Baltodano, M. 2005. Valoración económica del servicio ambiental hídrico en las subcuencas de los ríos Jucuapa y Calico, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 87 p.

Gelfius, F. 2000. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. San Salvador, SV, IICA-GTZ. 208 p.

Holman, F. 1999. Ex-ante analysis of new forage alternatives for farms with dual-purpose cattle in Peru, Costa Rica, Nicaragua. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd11/3/hol113.htm>

Ibrahim, M. 2005. Degradación y recuperación de pasturas. Turrialba, CR, CATIE. 20 p.

Jiménez, F. 2005. Manejo de desastres naturales. Turrialba, CR, CATIE. 286 p.

Lascano, C; Ávila, P; Ramírez, G; Amézquita, C. (eds.). 1997. Fuentes de variación en la producción y composición de la leche de vacas en un sistema de pastoreo secuencial. *In* Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Cali, CO, CIAT. Consorcio Tropicoleche. 285 p.

Morales, J. 2003. Metodología de planificación ambiental participativa para formular el Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC) de la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 221 p.

Payán, A. 2006. Evaluación participativa de forrajes mejorados para el manejo sostenible de los recursos naturales en la subcuenca del río Jucuapa Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.

Peters, M; Franco, L; Schmidt, A; Hincapié, B. 2003. Especies forrajeras multipropósito. Cali, CO, CIAT. 113 p.

Szot, 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.

Spain, M; Gualdrón, R. 1991. Degradación y rehabilitación de pasturas. *In* E, Lascano y J, Spain (eds.). Establecimiento y renovación de pasturas. VI Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Cali, CO, CIAT. 283 p.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores ganaderos Pedro Payán, Gerardo Rodríguez, Álvaro Dávila, José Valle, Juan Aguilar y Pedro Martínez por el apoyo brindado durante el periodo de establecimiento y evaluación de las parcelas. Al personal del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Matagalpa; en especial al jefe de oficina Yuri Haar y los extensionistas José Ruiz y Evelia Centeno. A la oficina de INTA-Matagalpa representada por el jefe de oficina, Neftaly Aráuz y los extensionistas Róger Mendoza, Jhony Montalbán y José Jarquín y al área de investigación de CEVAS-INTA a través del investigador Agustín Torres.

# Crecimiento de forrajes mejorados con potencial para sistemas de producción agropecuaria en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua<sup>1</sup>

Arlen Payán<sup>2</sup>; Francisco Jiménez<sup>3</sup>;  
Muhammad Ibrahim<sup>4</sup>;  
Fernando Casanoves<sup>5</sup>

La subcuenca del río Jucuapa tiene una estación seca de seis meses; la parte media de la cuenca, donde se concentra la mayor actividad ganadera, recibe una precipitación promedio de 800 mm anuales y presenta los mayores índices de degradación de los suelos por efecto del sobrepastoreo. Los avances tecnológicos ofrecen novedosas especies de forrajes mejorados con potencial de adaptación a las condiciones climáticas de la subcuenca, como las pasturas *Brachiaria brizantha* × *Brachiaria ruziziensis* y *Brachiaria brizantha* y la leguminosa *Cratylia argentea*.



Foto: Arlen Payán.

<sup>1</sup> Basado en Basado en Payán, A. 2006. Evaluación participativa de forrajes mejorados para el manejo sostenible de los recursos naturales en la subcuenca del río Jucuapa Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo Integrado de Cuencas, CATIE. apayan@catie.ac.cr

<sup>3</sup> CATIE. Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. fjimenez@catie.ac.cr

<sup>4</sup> CATIE. Grupo Ganadería y Manejo del Medio Ambiente. mibrahim@catie.ac.cr

<sup>5</sup> CATIE. Unidad de Bioestadística. casanove@catie.ac.cr

## Resumen

Se estudió el crecimiento de las pasturas mejoradas *Brachiaria brizantha* × *Brachiaria ruziziensis* y *Brachiaria brizantha* y la leguminosa *Cratylia argentea* bajo las condiciones agroecológicas de la parte media de la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua, y dos sistemas de siembra: directa y por trasplante. Como pastura de referencia se utilizó la especie nativa *Hyparrhenia rufa*. Las pasturas mejoradas establecidas por trasplante tuvieron una mejor cobertura del suelo y un mayor número de macollas, en comparación con la pastura nativa. Con cualquier sistema de siembra, los forrajes mejorados tuvieron mayores rendimientos de materia seca en comparación con los rendimientos de la pastura nativa. El crecimiento de *Cratylia argentea* no mostró diferencias significativas entre formas de establecimiento.

**Palabras claves:** Forrajes; *Brachiaria brizantha*; *Brachiaria ruziziensis*; *Cratylia argentea*; *Hyparrhenia rufa*; crecimiento; río Jucuapa; Nicaragua.

## Summary

### Improved pastures for cattle rising in the Jucuapa river subwatershed, Nicaragua.

The growth of *Brachiaria brizantha* × *Brachiaria ruziziensis* and *Brachiaria brizantha* pastures and of the leguminous *Cratylia argentea* was studied under the agro-ecological conditions prevailing in the central part of the Jucuapa river subwatershed, Nicaragua; two planting systems were evaluated: direct sowing and transplant. The native species *Hyparrhenia rufa* was used as reference. Improved pastures established by transplant showed a better soil cover and a bigger number of shoots than the native pasture. Dry matter yields of improved pastures were much better than those of the native species. *Cratylia argentea* did not show significant changes in growth, whether established directly or transplanted.

**Keywords:** Forage; *Brachiaria brizantha*; *Brachiaria ruziziensis*; *Cratylia argentea*; *Hyparrhenia rufa*; growth; Jucuapa river; Nicaragua.

## Introducción

La degradación acelerada de los recursos naturales y del ambiente en las cuencas hidrográficas de América Central es una preocupación permanente que plantea el desafío de buscar alternativas de producción agrosilvopecuaria compatibles con las características biofísicas y socioeconómicas de la región. En el 2003, 12 millones de hectáreas (63%) del área agrícola de América Central estaban ocupadas por pasturas permanentes; la mayoría eran manejadas de manera convencional, utilizando fuego y bajos insumos (FAO 2006). Con el tiempo, la productividad de estas pasturas degradadas disminuye y aumenta la degradación ambiental (Andrade 2006). Esta situación es más crítica en zonas con periodos secos prolongados, donde la escasez

de forraje lleva al sobrepastoreo y, en consecuencia, a la degradación de los suelos y de su cobertura vegetal y a la alteración del ciclo hidrológico local.

La subcuenca del río Jucuapa en Nicaragua tiene una estación seca de seis meses; la parte media de la cuenca, donde se concentra la mayor actividad ganadera, recibe una precipitación promedio de 800 mm anuales y presenta los mayores índices de degradación de los suelos por efecto del sobrepastoreo (Morales 2003). La mayor parte de los productores ganaderos utilizan pasturas naturalizadas, principalmente jaragua (*Hyparrhenia rufa*), de baja productividad y en estado avanzado de degradación. Las especies arbóreas utilizadas con mayor frecuencia por los productores ganaderos son *Gliricidia sepium*,

*Guazuma ulmifolia* y *Erythrina* sp. (Morales 2003); en condiciones agroclimáticas similares, se ha encontrado que estas especies pierden sus hojas durante los meses más secos (febrero y marzo), que son críticos para el abastecimiento de forraje (Muñoz 2003).

Ante esta situación, es necesario realizar mejoras en los sistemas de producción; entre ellas, la búsqueda de tecnologías con enfoque de cuencas, tales como las pasturas mejoradas y suplementos nutritivos a base de especies leguminosas arbóreas con alto contenido de proteínas. Los avances tecnológicos ofrecen novedosas especies de forrajes mejorados con potencial de adaptación a las condiciones climáticas de la subcuenca, como las pasturas *Brachiaria brizantha* × *Brachiaria ruziziensis* y *Brachiaria brizantha* y la leguminosa



*Cratylia argentea*. La introducción de brachiaria en áreas estacionalmente secas ha mostrado que esta pastura tiene más tolerancia a la sequía y a la sombra que especies gramíneas naturalizadas como la jaragua, soportan cargas animales más altas y favorecen una mayor productividad animal (Lascano 1991, Pizarro et ál. 1998, Guenni et ál. 2002). Sin embargo, algunos autores (Fujisaka et ál. 2003, Xavier y Carvalho 1995) mencionan limitaciones en la introducción de estos forrajes, como el alto costo y la baja eficiencia del establecimiento.

El objetivo del estudio fue evaluar el crecimiento de los forrajes mejorados bajo dos sistemas de siembra, como alternativa para mantener una cobertura vegetal permanente, reducir la degradación de los recursos naturales de la subcuenca y contribuir al mejoramiento de la situación socioeconómica de los productores.

### El sitio de estudio

El estudio se realizó en la subcuenca del río Jucuapa, departamento de Matagalpa, Nicaragua. Geográficamente, el área está comprendida entre las coordenadas 86°02'30" y 85°53'38" de longitud oeste y 12°50'06" y 12°53'35" de latitud norte. Es una subcuenca típica de montaña, con altitudes que varían entre 500 y 1400 msnm, pendientes entre 15 y 30%, temperatura media de 22°C a 26°C y precipitación media anual de 1164 mm, con seis meses de periodo seco. Sin embargo, en la parte media y baja de la subcuenca ocurren precipitaciones menores de 800 mm anuales (Morales 2003).

El tamaño promedio de las fincas está entre 0,7 y 3,5 ha (Baltodano 2005), la tenencia promedio de animales es de tres a cinco cabezas de ganado por familia. La estrategia principal de sobrevivencia está basada en la diversificación de cultivos, principalmente maíz, frijol y sorgo, con ganadería en pequeña escala.

### Establecimiento de las parcelas experimentales y material biológico

Las parcelas experimentales se establecieron en la finca del señor Pedro Payán ubicada en parte media de la subcuenca del río Jucuapa, durante el 2005. El material biológico de las pasturas consistió en *B. ruziziensis* × *B. brizantha* y *B. brizantha* establecidas a través de dos sistemas de siembra: por trasplante y mediante siembra directa por semilla. Como forraje de referencia para comparar el crecimiento de estas pasturas se utilizó *H. rufa*, la cual solamente se puede establecer de manera práctica por semilla mediante siembra directa. En la misma finca se ubicaron las parcelas para evaluar el crecimiento de la leguminosa *C. argentea*, establecida también mediante los sistemas de siembra directa y por trasplante.

### Medición del crecimiento de las pasturas en los dos sistemas de siembra

Para evaluar el crecimiento de las pasturas en los sistemas de siembra directa y por trasplante se utilizó un diseño de tres bloques generalizados con tres repeticiones por bloque y cinco tratamientos. Los tratamientos uno, dos y tres correspondieron a la siembra directa de *B. ruziziensis* × *B. brizantha*, *B. brizantha* y *H. rufa*, respectivamente y los tratamientos cuatro y cinco a la siembra por trasplante de *B. ruziziensis* × *B. brizantha* y *B. brizantha* respectivamente.

El modelo matemático para el análisis de la varianza fue el siguiente:  $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + B_j + E_{ijk}$ , donde:  $Y_{ijk}$ : es la respuesta de las diferentes variables a evaluar,  $\mu$  es la media general,  $\tau_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ),  $B_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo bloque ( $j = 1, 2, 3$ ) y  $E_{ijk}$  es el error experimental independiente  $\sim N(0, \sigma^2)$ . El área de cada unidad experimental fue de 16 m<sup>2</sup> (4 m de ancho por 4 m de largo).

Con el fin de eliminar el efecto de la pendiente, el bloqueo se realizó en los tres niveles de pendiente existentes en el área: alto, medio y bajo. La distancia entre bloques fue de 1 m. El área total del experimento fue de 868 m<sup>2</sup> (62 m de largo y 14 m de ancho). Cada bloque midió 20 m de largo por 14 m ancho. La distancia de siembra en las parcelas fue de 25 cm entre hileras y 25 cm entre plantas; en los tratamientos con siembra directa se usaron tres semillas por golpe a una profundidad de 1 cm.

El crecimiento de las pasturas se midió con las siguientes variables: número de macollas y número de tallos por metro cuadrado, y cobertura del suelo por los pastos (se midió en tres puntos sobre la diagonal de la parcela utilizando un marco de 0,25 m<sup>2</sup>). Estas variables se midieron mensualmente desde el tercer mes después del trasplante y durante un periodo de cinco meses. La producción de biomasa aérea, expresada como materia seca, se midió como forraje verde y porcentaje de materia seca. Para realizar las mediciones de forraje verde se cortó 1 m<sup>2</sup> de pasto a 5 cm sobre el suelo, en el centro de cada unidad experimental. El forraje obtenido se pesó en una balanza y se registró la producción de forraje por tratamiento. El forraje fresco se picó con machete, luego, mediante el método de cuarteo se obtuvieron muestras de 300 g por tratamiento, las cuales se colocaron en bolsas previamente identificadas. Un total de 45 muestras se enviaron al laboratorio, donde se secaron al horno a una temperatura de 60°C hasta peso constante, luego se determinó el porcentaje de humedad y se calculó la producción de materia seca correspondiente a cada tratamiento.

La profundidad de raíces se midió con una cinta graduada en centímetros; el volumen radicular se calculó con el método de desplazamiento de Arquímedes (Jiménez 1986). Ambas variables fueron evaluadas en dos

plantas tomadas al azar en 1 m<sup>2</sup> de cada unidad experimental.

Una vez obtenidos los datos de las variables estudiadas en las pasturas se realizó un ANOVA para medidas repetidas en el tiempo, utilizando el programa estadístico InfoStat (2004). Las medias de las variables número de tallos, número de macollas y producción de materia seca fueron analizadas a través de contrastes ortogonales mediante el programa estadístico SAS (2001).

### Medición del crecimiento de *Cratylia argentea* bajo los dos sistemas de siembra

Para evaluar el crecimiento de *C. argentea* se utilizó un diseño experimental de tres bloques generalizados, tres repeticiones y dos tratamientos (siembra directa y transplante). El modelo matemático para el análisis de la varianza fue el siguiente:  $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + B_j + E_{ijk}$ , donde:  $Y_{ijk}$  es la respuesta de las diferentes variables a evaluar,  $\mu$  es la media general,  $\tau_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento ( $i=1,2$ ),  $B_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo bloque ( $j=1,2,3$ ) y  $E_{ijk}$  es el error experimental independiente  $\sim N(0, \sigma^2)$ .

El área de cada unidad experimental fue de 16 m<sup>2</sup> (4 m de ancho por 4 m de largo). Con el fin de eliminar el efecto de la pendiente, el bloqueo se realizó en los tres niveles de pendiente existentes en el área: alto, medio y bajo. Cada bloque midió 14 m de largo por 8 m ancho. La distancia entre bloques fue de 1 m. Cada uno de los bloques tuvo tres repeticiones; los tratamientos se distribuyeron de manera aleatoria en cada repetición. La distancia entre repeticiones fue de 1 m entre calles. El área total del experimento fue de 364 m<sup>2</sup> (26 m de largo y 14 m de ancho).

Las distancias de siembra en el sitio de siembra definitivo fueron de 50 cm entre hileras y 50 cm entre plantas; para la siembra directa se usaron dos semillas por golpe a una profundidad 1 cm (Argel et ál. 2002). Para el tratamiento de transplante se

preparó un almácigo en 500 bolsas de 15 cm de diámetro por 20 cm de alto. La profundidad de siembra en la bolsa fue de 1 cm. Un mes después de establecido el almácigo se procedió al transplante de dos plantas por sitio, con el objetivo de lograr las mismas condiciones de densidad de plantas en cada tratamiento.

Desde el mismo día del transplante y durante un periodo de nueve meses, en cada tratamiento se midieron 15 plantas previamente enumeradas del centro de cada unidad experimental, con el fin de evaluar el crecimiento por medio de las variables altura de planta, número de ramas por planta y diámetro del tallo. La variable altura de planta se midió mensualmente con cinta métrica. El número de ramas se contó a partir del quinto mes después de la siembra directa. El diámetro del tallo se midió con un vernier graduado en milímetros, a una altura de 10 cm sobre el suelo.

Durante el periodo seco y en el octavo mes después de haberse realizado la siembra directa de la leguminosa se midieron las variables producción de biomasa y profundidad de raíces. La producción de biomasa aérea, expresada como materia seca, se midió como forraje verde y porcentaje de materia seca. Para realizar las mediciones de forraje verde se cortó el follaje palatable para el ganado bovino (tallos tiernos y hojas) de las 15 plantas medidas; el forraje obtenido se pesó en una balanza y se registró la producción de forraje por tratamiento. El forraje fresco se picó con machete, luego mediante el método de cuarteo se obtuvieron muestras de 300 g por tratamiento, las cuales se colocaron en bolsas previamente identificadas. El total de 18 muestras se enviaron al laboratorio, donde se secaron al horno a una temperatura de 60°C hasta peso constante, luego se determinó el porcentaje de humedad y se calculó la producción de materia seca correspondiente a cada tratamiento.

La profundidad de raíces se midió con cinta graduada en dos plantas preseleccionadas de cada unidad experimental; los datos obtenidos se registraron en una hoja de campo previamente diseñada. A los datos de las variables estudiadas en *C. argentea* se les aplicó un ANOVA para medidas repetidas en el tiempo, utilizando el programa estadístico InfoStat (2004).

### Resultados y discusión

Medición del crecimiento de pasturas bajo dos sistemas de siembra

**Número de macollas y número de tallos.**- Se encontraron diferencias entre tratamientos para el número de macollas ( $p < 0.0001$ ). Con base en el análisis de contrastes ortogonales, se obtuvo que el número de macollas de las pasturas mejoradas sembradas por transplante fue estadísticamente diferente ( $p < 0.0001$ ) y mayor que la siembra directa, tanto de estas especies como de *H. rufa* (Fig. 1). Estos resultados sugieren que el sistema de siembra por transplante podría ser un criterio importante para lograr una mayor cobertura del suelo, lo cual podría reducir la escorrentía superficial y favorecer la infiltración del agua (Ríos 2005).

En cuanto al número de tallos, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre las especies de pasturas evaluadas ( $p < 0.0004$ ). Mediante contrastes ortogonales se observó una mayor cantidad de tallos en las pasturas mejoradas establecidas a través del sistema de siembra directa con respecto al transplante ( $p < 0.0352$ ) (Fig. 2). Este comportamiento se debe, posiblemente, a que con la siembra directa se formaron menos macollas, lo que permitió entonces que las plantas tuvieran más espacio y menor competencia, favoreciendo así la formación de un mayor número de tallos.

Con el tiempo, todas las especies de pastos mostraron un incremento en la cantidad de tallos, aunque se observó una disminución del material foliar vivo y un aumento del material muerto. Resultados similares obtuvieron Alvarado et ál. (1990) para la pastura *B. decumbens*. El incremento del material foliar muerto que se da en las pasturas a medida que se van haciendo viejas podría reducirse mediante desfoliación liviana, seguida de periodos adecuados de recuperación que favorezcan la formación de rebrotes y, en consecuencia, una mayor formación de nuevas hojas en las pasturas (Rodríguez y Avilés 1997).

**Cobertura del suelo por las pasturas.-** El porcentaje de cobertura del suelo por las pasturas, evaluada 148 días después de su establecimiento, mostró diferencias significativas ( $p = 0,0005$ ) entre los sistemas de siembra utilizados. La mejor cobertura se obtuvo con el sistema de siembra por transplante de pasturas mejoradas (*B. brizantha* × *B. ruziziensis* y *B. brizantha*) en comparación con el sistema de siembra directa, tanto de las pasturas mejoradas como de la naturalizada (*H. rufa*). Esto se debió, posiblemente, al mayor número de macollas que desarrollaron las pasturas mejoradas bajo el sistema de siembra por transplante. Las pasturas mejoradas mostraron un porcentaje mayor de cobertura que la pastura nativa bajo cualquiera de los sistemas de siembra (Fig. 3). Este comportamiento se mantuvo después de aplicarse un corte de homogenización a los 136 días después de establecidas las parcelas experimentales. La cobertura del suelo por las pasturas después del corte de homogenización mostró un crecimiento exponencial con ambos sistemas de siembra; la mayor cobertura se dio a los 243 días después de su establecimiento (Fig. 3). Las pasturas mejoradas establecidas por transplante ofrecen la mayor

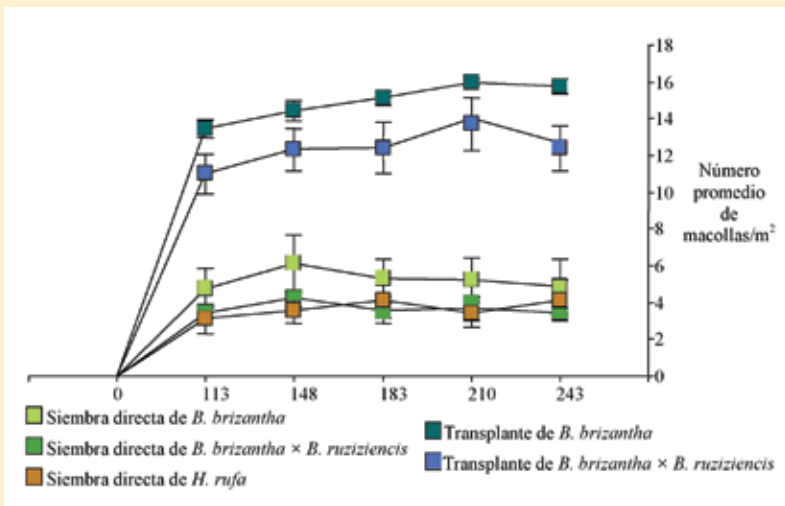


Figura 1. Número de macollas/m<sup>2</sup> (medias ± EE) de diferentes pasturas evaluadas en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua

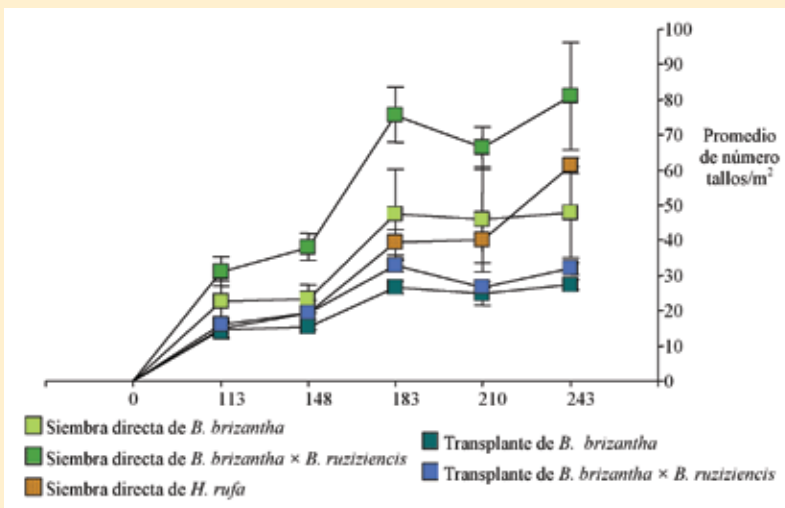


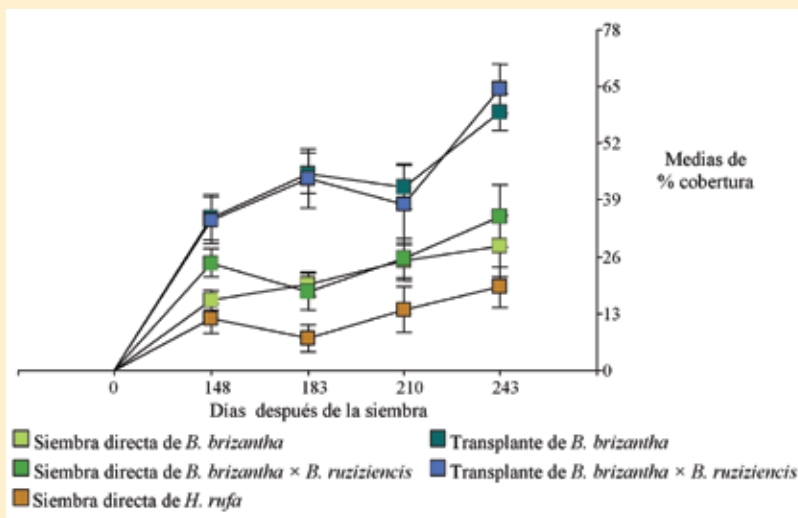
Figura 2. Número de tallos/m<sup>2</sup> (medias ± EE) de diferentes pasturas evaluadas en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua

cobertura del suelo; esto, acompañado con un ajuste de la carga animal, brinda una mejor protección al suelo al inicio de la época de lluvias, con lo que disminuye la escorrentía y se favorece la infiltración (Ríos 2005).

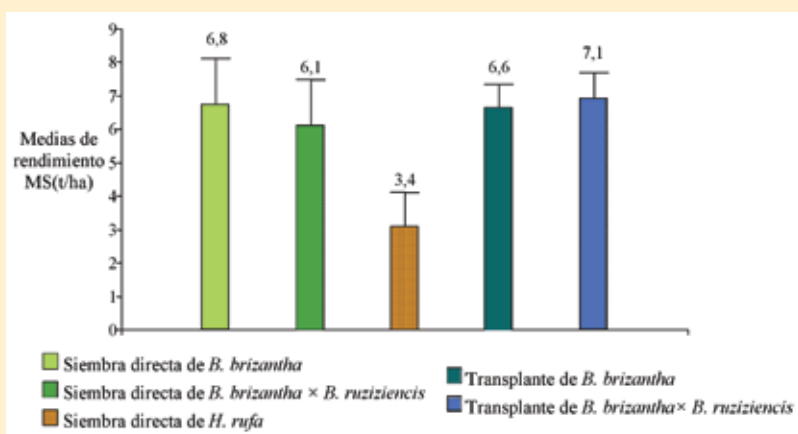
Sanabria et ál. (1992), en un estudio realizado en los Llanos Orientales y sur de Colombia, obtuvieron un 65% de cobertura del suelo por *B. brizantha*; este dato es similar al 64% de cobertura encontrado en

el presente estudio con esa misma pastura establecida por transplante. Los resultados son similares porque en ambos sitios predominan suelos de baja fertilidad natural y periodos de sequía de hasta seis meses.

**Producción de biomasa.-** La producción de materia seca difirió entre tratamientos ( $p = 0.0556$ ). El análisis de contrates ortogonales mostró una mayor producción de materia seca a los 243 días de establecido



**Figura 3.** Porcentaje de cobertura del suelo (medias ± EE) por las diferentes pasturas, en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua



**Figura 4.** Producción de materia seca (medias ± EE) de pasturas en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua

el ensayo y 136 días después del corte de uniformización en las pasturas establecidas por transplante ( $p = 0,0387$ ). Asimismo, los análisis mostraron que las pasturas mejoradas establecidas por siembra directa tuvieron mejores rendimientos que el pasto nativo también establecido por siembra directa ( $p = 0,0117$ ) (Fig. 4). La mayor producción de materia seca en las pasturas mejoradas bajo ambos sistemas de siembra se debe posiblemente al mayor potencial genético de producción del pasto mejorado, lo cual se evidencia

en el mayor número de macollas y tallos por macolla. El incremento de la producción de materia seca –especialmente de pasturas mejoradas establecidas por transplante - podría ayudar a los productores ganaderos de la subcuenca a liberar áreas de pasturas degradadas, frágiles o de recarga de agua, las cuales podrían ser sometidas a reforestación.

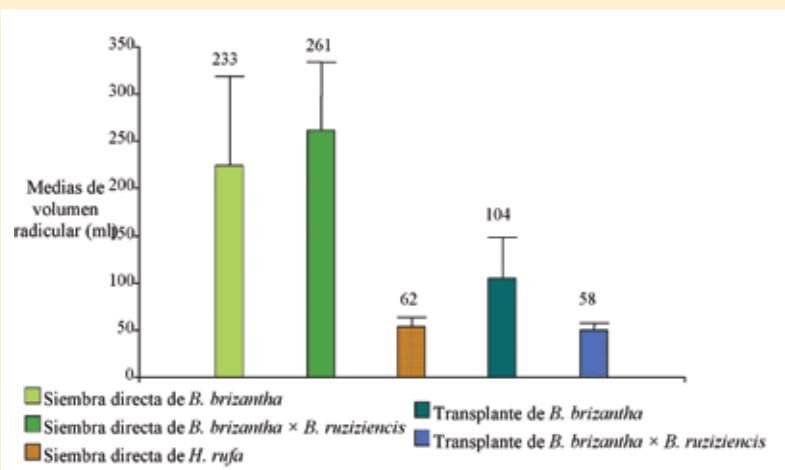
Otro resultado importante fue que las pasturas mejoradas mantuvieron su producción de forraje durante la época seca, pero la pastura naturalizada disminuyó su

producción. Este resultado podría ser muy favorable para aquellos productores ganaderos que han establecido forrajes mejorados en sus fincas, debido a que este cambio les permitirá mantener la producción de leche durante las épocas críticas.

**Profundidad de raíces y volumen radicular.-** Las medias de profundidad de raíces de *B. brizantha* × *B. ruziziensis* y *B. brizantha* establecidas por transplante correspondieron a 32 y 28 cm, respectivamente, y 31 y 30 cm cuando se establecieron por siembra directa. *H. rufa* alcanzó 25 cm, aunque las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas ( $p = 0,1809$ ), debido posiblemente a la gran variabilidad de los datos.

En ambos sistemas de siembra, *B. brizantha* × *B. ruziziensis* alcanzó mayor profundidad de raíces seguida por *B. brizantha*, lo que hace suponer que estas especies están mejor adaptadas para resistir las condiciones de estrés hídrico ya que utilizan un mayor volumen del suelo o, al menos, capas más profundas del mismo de donde extraen el agua. Schaller (2001) en Costa Rica encontró, a diferentes profundidades de suelo, un denso sistema radicular de *B. brizantha*; a una profundidad de 20 cm contó hasta 100 raíces por 100 cm<sup>2</sup>.

Las medias de volumen radicular desplazado por las pasturas mejoradas establecidas por siembra directa correspondieron a 261 y 233 ml de agua para *B. brizantha* × *B. ruziziensis* y *B. brizantha*, respectivamente (Fig. 5). Estos valores difieren de la media de volumen de agua desplazado por las raíces de *H. rufa* (62 ml). El comportamiento de las pasturas mejoradas posiblemente se debe a que son plantas vigorosas que producen raíces en los entrenudos y cuyo crecimiento es estolonífero y decumbente, a diferencia de la especie naturalizada que se caracteriza por un crecimiento erecto.



**Figura 5.** Volumen radicular (medias ± EE) de pasturas en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua

#### Cuadro 1.

Comportamiento de variables de crecimiento de *Cratylia argentea* (medias ± EE) en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua

Variable	Sistema de siembra	
	Siembra directa	Siembra por transplante
<b>Diámetro de tallo (mm)</b>		
187 días	0,77±0,07a	0,70±0,05 <sup>a</sup>
219 días	0,93±0,08a	0,84±0,06 <sup>a</sup>
<b>Número de ramas</b>		
187 días	1,39±0,06a	1,41±0,04a
219 días	2,59±0,30a	2,43±0,21a
Profundidad de raíces (cm)	58,4±3,62a	54,2±4,39a
Producción biomasa (kg MS/ha)	1894± 435a	1350±274a

número de días después de realizada la siembra en sitio definitivo. Letras iguales en la misma fila indican que no hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

El promedio de volumen de agua desplazado por *B. brizantha* × *B. ruziziensis* establecida por transplante difiere estadísticamente ( $p = 0,0380$ ) del volumen de agua desplazado por la misma pastura establecida por siembra directa y por el resto de los tratamientos (Fig. 5). Esto evidencia el efecto del sistema de siembra sobre el crecimiento radicular, ya que ese tratamiento presentó el menor número de macollas por área, lo que permitió que las plantas tuvieran más espacio y menor competencia para

desarrollar un sistema radicular más voluminoso.

#### Medición del crecimiento de *Cratylia argentea* bajo dos sistemas de siembra

**Altura de las plantas.-** Es importante destacar el buen crecimiento de *C. argentea* con ambos sistemas de siembra a los 187 y 219 días después de haberse establecido; ese periodo corresponde a los meses de enero y febrero, que en la zona son considerados como meses de sequía (Morales 2003). Se evidencia, enton-

ces, la resistencia de la especie a las condiciones climáticas desfavorables de la subcuenca del río Jucuapa, en términos de déficit hídrico.

En general, el crecimiento de las plantas fue mayor con el sistema de siembra directa; la diferencia con respecto a la siembra por transplante aumentó con la edad de las plantas (Fig. 6). Sin embargo, debido posiblemente a la gran variabilidad de los datos (principalmente a partir del quinto mes después de la siembra), las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p = 0,0621$ ). El crecimiento en altura, con ambos sistemas de siembra, se ajustó a un modelo logarítmico ( $p < 0,0001$ ,  $R^2 = 0,99$ ). Los modelos fueron  $Y = 9,19e^{0,0123X}$  para siembra directa y  $Y = 10,82e^{0,0105X}$  para siembra por transplante; donde, Y representa la altura de la planta y X los días desde la siembra.

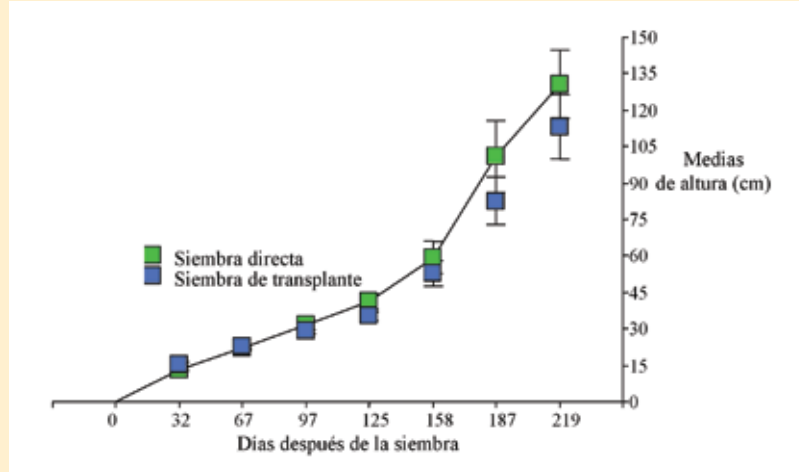
**Número de ramas, diámetro del tallo, profundidad de raíces y producción de biomasa.-** El análisis de varianza para las variables número de ramas, diámetro del tallo, profundidad de raíces y producción de biomasa no mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0,2377$ ,  $p = 0,6933$ ,  $p = 0,4973$  y  $p = 0,2603$ , respectivamente) (Cuadro 1). Posiblemente la semejanza de estos resultados se deba a que las parcelas tenían condiciones similares de humedad a diferentes profundidades. La producción de biomasa promedio en este estudio fue de 100 g MS por planta, similar a los reportados por Argel et ál. (2001) en Atenas Costa Rica, una zona con condiciones pluviométricas similares (seis meses de periodo seco) a las del presente estudio.

#### Conclusiones

Las pasturas mejoradas establecidas a través del sistema de siembra por transplante brindan mejor cobertura al suelo durante todo el año en la subcuenca del río Jucuapa. Este factor podría

ayudar a disminuir la escorrentía y favorecer la infiltración del agua en áreas de la subcuenca que están siendo ocupadas por este tipo de coberturas.

- El crecimiento y el mantenimiento del follaje de *C. argentea* en los dos sistemas de siembra durante la época seca, sugieren la resistencia de esta leguminosa a las condiciones climáticas desfavorables de la subcuenca del río Jucuapa. *C. argentea* mostró en ambos sistemas de siembra (directo y por transplante) un crecimiento lento en los primeros tres meses y luego experimentó un crecimiento exponencial.



**Figura 6.** Crecimiento acumulado de *Cratylia argentea* (medias  $\pm$  EE) en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua

## Literatura citada

- Alvarado, A; Arriojas, L; Chacón, E; Rodríguez, S; Chacín, F. 1990. Estudios sobre heneficación de pasto barrera (*Brachiaria decumbens* Staff) en condiciones de sabanas del piedemonte Barines; producción y valor nutritivo de la materia seca. *Zootecnia tropical* 8(1-2):17-36.
- Andrade, H. 2006. Growth and water competition in silvopastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR / Gwynedd, UK, CATIE-University of Wales. 249 p.
- Argel, P; González, J; Lobo, M, Acuna, V; Jiménez, C. 2001. Cultivar Veraniega (*Cratylia argentea* (Desv. O Kuntze): una leguminosa arbustiva para la ganadería de América Latina Tropical. San José, CR, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín técnico. 26 p.
- \_\_\_\_\_; Giraldo, G; Peters, M; Lascano, C. 2002. Producción artesanal de semilla de cratylia (*Cratylia argentea*) accesiones CIAT 18516 y 18668. Cali, CO, CIAT. 16 p.
- Baltodano, MA. 2005. Valoración económica del servicio ambiental hídrico en las subcuencas de los ríos Jucuapa y Cálculo, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 123 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2006. Statistical Database (en línea). Consultado 20-10-2006. Disponible <http://faostat.fao.org/site/418/default.aspx>.
- Fujisaka, F; Peters, M; Schmidt, A; White, D; Burgos, C; Ordoñez, J; Mena, M; Posas, M; Cruz, H; Davis, C; Hincapié, B. 2003. Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas en Honduras y Nicaragua. *Pasturas Tropicales* 27(2):73-92.
- Guenni, O; Marin, D; Baruch, Z. 2002. Responses to drought of five *Brachiaria* species: Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. *Plant and Soil* 243:229-241.
- InfoStat. 2004. InfoStat, versión 2004: manual del usuario. Córdoba, AR, Universidad Nacional.
- Jiménez, F. 1986. Relación entre el volumen radical y la absorción de agua por el frijol cultivado en solución nutritiva. In Colegio de Ingenieros Agrónomos y Sociedad Americana de Ciencias Hortícolas. VII Congreso Agronómico Nacional y XXXIII Congreso de Horticultura. Resúmenes. San José, CR. 1: 153-154.
- Lascano, C. 1991. Managing the grazing resource for animal production in savannas of tropical America. *Tropical Grasslands* 25:66-72.
- Morales, J. 2003. Metodología de planificación ambiental participativa para formular el Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC) de la subcuenca del Río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 221 p.
- Muñoz, D. 2003. Conocimiento local de la cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):61-68.
- Pizarro, E; do Valle, C; Keller-Grein, G; Schultze-Kraft, R; Zimmer, A. 1998. Experiencia regional con *Brachiaria*: Región de América Tropical - Sabanas. In Miles, JW; Maass, BL; do Valle, CB. (Eds.). *Brachiaria*: biología, agronomía y mejoramiento. Cali, CO, CIAT, EMBRAPA/CNPQC. p. 247-269.
- Ríos, J. 2005. Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoral en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del río Jabonal, cuenca del río Barranca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 116 p.
- Rodríguez, J; Avilés, L. 1997. Pastoreo intensivo y tradicional: su influencia sobre el sistema suelo-planta- animal en el sureste de México. *Producción animal* 5(1):72-75.
- SAS Institute. 2001. SAS/STAT release 8.2. SAS Inst., Cary, NC.
- Sanabria, D; Farinas, J; Manrique, U; Flores, Z; Reina, Y. 1992. Adaptabilidad de gramíneas y leguminosas forrajeras en un paisaje de Mesa del estado de Bolívar, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 13(3):63-67.
- Schaller, M. 2001. Quantification and management of root interactions between fast-growing timber tree species and coffee in plantations in Central America. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. 112 p.
- Xavier, D; Carvalho, M. 1995. Avaliação agronomica de *Cratylia argentea* na Zona de Mata de Minas Gerais. In Pizarro, E; Coradin, L. (Eds.). Potencial del género cratylia como leguminosa forrajera. Brasília, BR. 117 p.

# Capacidad potencial de las franjas ribereñas del río Bermúdez para reducir la erosión

Gaetan Buzolich<sup>1</sup>; Marine Donal<sup>2</sup>;  
Jenny Reynolds Vargas<sup>3</sup>;  
Laura Torres Corral<sup>4</sup>

La capacidad de las franjas ribereñas para impedir la erosión es relativamente baja a todo lo largo del río Bermúdez.

El uso del suelo en las franjas cercanas al río varía mucho sobre distancias a menudo muy cortas. Los valores de la capacidad de las franjas ribereñas para reducir la erosión obtenidos fueron muy diferentes según los lugares. Esto puede explicarse en función de tres factores: a) la fuerte pendiente, b) la poca presencia de bosques protectores o pastos en las márgenes del río y c) la urbanización continua cerca a todo el lecho del río.

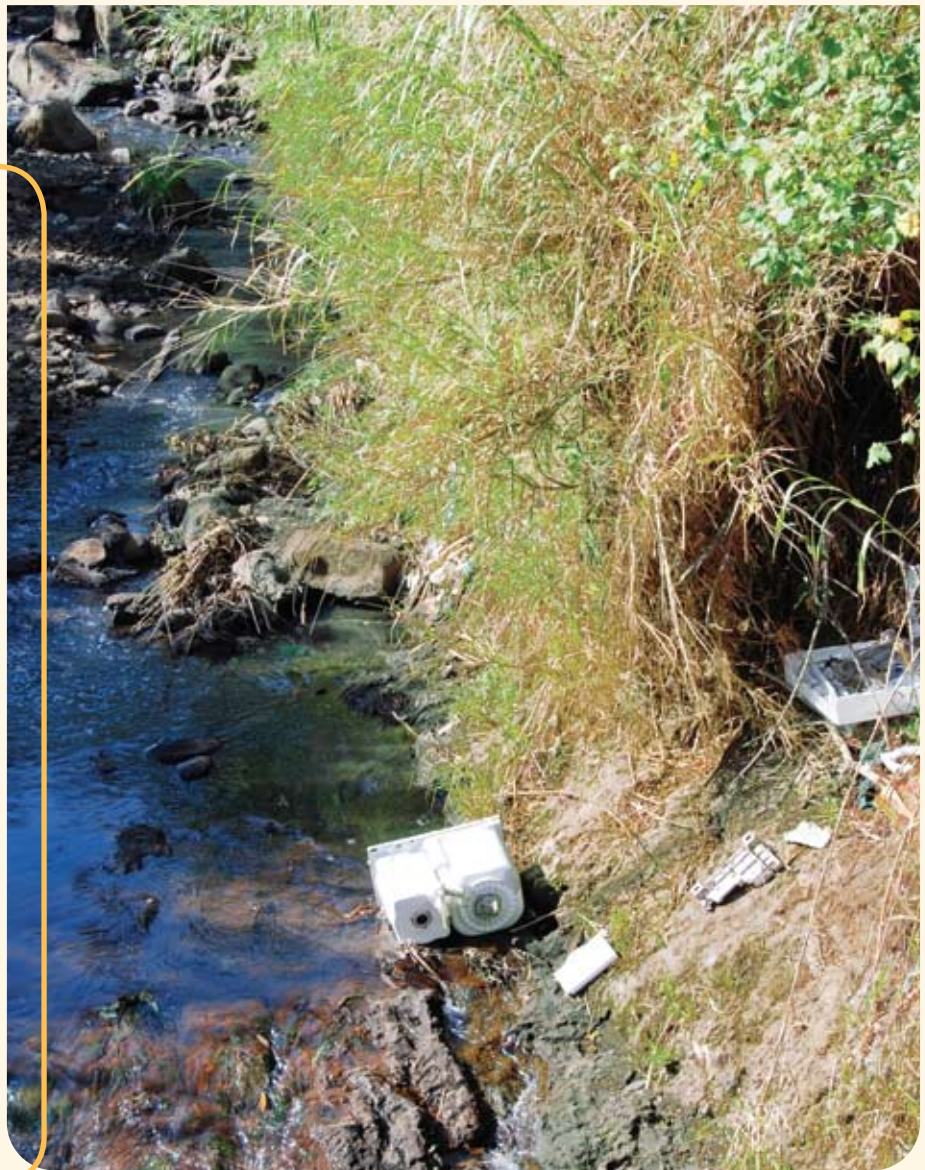


Foto: Jenny Reynolds.

<sup>1</sup> 214 Le Grand Chemin, 69210 Lentilly, Francia. gaetan.buzolic@libertysurf.fr

<sup>2</sup> 214 Le Grand Chemin, 69210 Lentilly, Francia. mdonal@caramail.com

<sup>3</sup> Centro de Hidrología Ambiental, Universidad Nacional. Apartado 86-3000, Heredia, Costa Rica. jreynold@una.ac.cr

<sup>4</sup> Centro de Hidrología Ambiental, Universidad Nacional. Apartado 86-3000, Heredia, Costa Rica. ltorral@eic.ucr.ac.cr

## Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar, de manera semi-cuantitativa, la capacidad de las márgenes del río Bermúdez, en el Valle Central de Costa Rica, para reducir la erosión y la contaminación originadas en áreas adyacentes. Para ello se propone una fórmula que toma en cuenta el uso del suelo y la topografía, considerados los factores más importantes que determinan los procesos erosivos.

El trabajo se llevó a cabo entre marzo y mayo del 2000 a partir del inventario visual directo de los usos del suelo en una franja de 50 metros de ancho a ambos lados del cauce del río. Los resultados obtenidos indican que la capacidad de las áreas ribereñas para impedir la erosión es relativamente baja. Las zonas más críticas corresponden a cafetales sobre pendientes fuertes, sin cobertura herbácea, y a los charrales quemados. El estudio reveló además que existe un número alto de puntos de descarga de desechos líquidos y sólidos, lo cual es evidencia de que las zonas urbanas cercanas son una fuente de contaminación importante que contribuye a aumentar el deterioro del agua del río. Se concluye que las prácticas actuales de uso del suelo sobre las márgenes del río Bermúdez y el manejo de los desechos no sólo no impiden, sino que favorecen los procesos erosivos y la contaminación del río.

**Palabras claves:** Cuencas hidrográficas; erosión; erosión por el agua; uso del suelo; utilización de la tierra; polución del agua; riberas; río Bermúdez; Costa Rica.

## Summary

**Potential capacity of the Bermudez river borders to reduce erosion.** This study was aimed at determining the capacity of the Bermudez river borders to reduce erosion and pollution originated in surrounding areas. A formula that takes into account land cover and slope is proposed, as these are the most important factors that determine erosive processes.

The study was conducted between March and May 2000, and was based on a visual inventory of land uses on a 50-meter strip along each side of the river. Results indicate that the capacity of the borders to reduce erosion is relatively low on both sides of the river.

The most critical areas are coffee plantations on steep slopes with no herbaceous cover, and burned regeneration ('charrales'). Several dumpings of liquid and solid wastes were observed. This indicates that nearby urban areas are sources of contamination that contribute to increase deterioration of water quality. Current land-use and waste-management practices along the Bermudez river contribute to increase erosive processes and pollution of water.

**Keywords:** Watershed; erosion; water erosion; land use; water pollution; margins; Bermúdez river; Costa Rica.

## Introducción

El incremento de las actividades económicas y sociales en todo el mundo ha estado acompañado por una presión cada vez mayor sobre los ecosistemas acuáticos (UNEP 1994). En Centroamérica en general, y en Costa Rica en particular, el aumento de la población y las deficientes regulaciones y controles sobre las actividades humanas han causado

un deterioro, a veces muy difícil de revertir, en los cuerpos de agua (Reynolds-Vargas 1996).

El Valle Central de Costa Rica es una región rodeada por sistemas montañosos de fuertes pendientes y con una precipitación intensa (2500 mm anuales en promedio) durante al menos siete meses del año (IMN, Archivos 2005). Estos factores sugieren que la erosión puede ser una fuente importante de degradación

de las aguas de los ríos debido al arrastre de sedimentos, de residuos de agroquímicos y de otras sustancias químicas de diversos orígenes. Además de esto, una vez iniciado el proceso erosivo, el lavado de la superficie del suelo en los terrenos adyacentes hace que el problema se agrave de manera irreversible conforme pasa el tiempo.

Es conocido el hecho de que el manejo adecuado de las áreas ribe-



reñas de los ríos, y en particular la preservación de la cobertura vegetal en estas áreas, permite limitar la erosión y la contaminación difusa en las aguas (Winter et al. 1998). La legislación de Costa Rica reconoce la importancia de las márgenes como últimas barreras posibles para evitar la degradación de los cuerpos de agua y desde hace muchos años se ha intentado limitar el efecto negativo de los usos del suelo sobre los cauces. Entre estas leyes se incluyen: la Ley General de Aguas (La Gaceta, 1942, artículos 1-9), que establece un área de protección de 5 metros de ancho a ambos lados del río; la Ley de Tierras y Colonización (La Gaceta, 1961), que establece en su artículo 7 la obligación de preservar un área de 200 metros en ambos lados de un río no navegable en un terreno plano y de 300 metros en terreno quebrado; y la Ley Forestal (La Gaceta, 1996,) que prohíbe en sus artículos 33 y 34 la corta de árboles en una franja a ambos lados del río de 10 metros en terreno plano y de 50 metros en terreno quebrado.

El río Bermúdez se sitúa en la cuenca del río Virilla, región de gran importancia desde el punto de vista socioeconómico ya que en ella se concentra más de la mitad de la población del país. Sus aguas son de buena calidad en la parte superior, pero sufren un deterioro gradual aguas abajo, conforme cruzan áreas cultivadas de café y zonas urbanas. El manejo inadecuado de las aguas negras y la contaminación con residuos de origen agrícola e industrial han sido señalados como los principales factores causantes de degradación de las aguas de este río (Castro et ál. 1996). Este deterioro representa un riesgo para la salud pública, ya que las aguas contaminadas no deberían ser empleadas en actividades agrícolas y menos aun como fuente de agua potable. A pesar de esto, se ha observado que durante la época seca algunos agricultores utilizan las aguas del río para irrigar cultivos de hortalizas.

Por otra parte, se ha comprobado que existe una relación estrecha entre el río Bermúdez y el acuífero Barba (Reynolds Vargas, datos no publicados), lo que abre la posibilidad de que ocurra un ingreso directo de contaminantes hacia las aguas subterráneas que abastecen a las poblaciones de la zona. El río ha perdido mucho de su calidad escénica, por lo que también se excluye la posibilidad de utilizarlo para actividades recreativas.

El objetivo de este estudio fue realizar un análisis de la capacidad de las márgenes del río Bermúdez para reducir la contaminación difusa de las aguas y la erosión. Se espera que la metodología propuesta constituya una herramienta que pueda ser utilizada por los actores locales y los científicos para planear acciones, tanto en la cuenca del Bermúdez como en otras cuencas.

### Materiales y métodos

#### Descripción del área de estudio

El río Bermúdez mide unos 26 kilómetros desde su nacimiento en el Monte de la Cruz, al norte de la ciudad de Heredia, hasta su desembocadura en el río Virilla, en San Rafael de Alajuela (Fig. 1). Sirve de

drenaje a una subcuenca de 74 km<sup>2</sup>, que tiene una topografía muy irregular, especialmente en su parte media y superior (Castro et ál. 1996). Los ecosistemas originales, de los cuales quedan solamente remanentes, corresponden a las zonas de vida denominadas Bosque Premontano Húmedo y Bosque Premontano Muy Húmedo, de acuerdo con la clasificación de Holdrige (1982).

#### Definición de los parámetros estudiados

**Cobertura de las márgenes del río o franjas ribereñas.** Está constituida por los elementos que cubren la superficie de una zona. Estos elementos o categorías fueron definidas por los autores de la siguiente manera: formaciones arbóreas, charrales, pastos, cultivos y urbanización. Se incluye además como categoría el “suelo desnudo”, que identifica las áreas sin cobertura de ningún tipo. De ser necesario, cada categoría se subdividió y posteriormente se estimaron visualmente los porcentajes relativos de cobertura por cada elemento:

**Formaciones arbóreas:** Se distinguieron cuatro tipos de formaciones arbóreas: los bosques en crecimiento

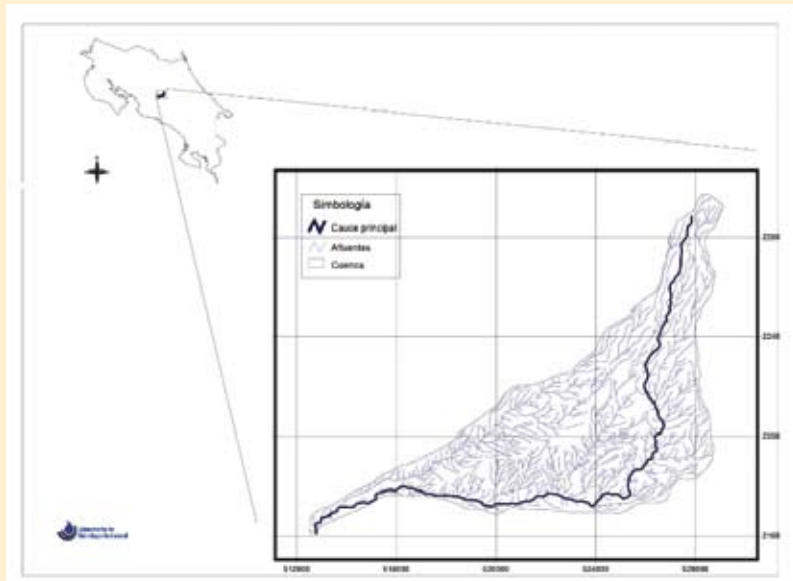


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Bermúdez

natural o semi-natural, las plantaciones de árboles, los árboles aislados y las cercas vivas. Un **bosque** es una formación vegetal natural o semi-natural compuesta por un estrato arborescente denso e irregular con varias especies. Una **plantación de árboles** es una formación vegetal plantada a propósito compuesta por un estrato arborescente regular con 1 ó 2 especies. Los **árboles aislados** son todos aquellos que han crecido en forma natural o han sido sembrados, que no forman conjuntos y que no están incluidos en las otras categorías. Una **cerca viva** es una alineación de árboles formando una barrera vegetal. Se observaron tres posiciones de cercas vivas con relación al río: perpendicular al río, paralela al río y la combinación de los dos anteriores.

**Charrales:** El charral es una formación vegetal compuesta principalmente de herbáceas y arbustos. Puede ser temporal en el caso de una regeneración después del abandono de un cultivo o una perturbación (fuego, corte) o permanente en lugares que no permiten el crecimiento de árboles (por ejemplo, en zonas muy rocosas o debido a la existencia de una capa de suelo muy delgada).

**Pastos:** Esta categoría incluye las áreas cubiertas por diferentes especies de gramíneas utilizadas como cobertura ornamental (césped en jardines y centros recreativos) y para alimentación de ganado.

**Cultivos:** Un cultivo es cualquier plantación artificial (excepto de árboles) cultivada de manera uniforme y sistemática. En esta zona del Valle Central, el café es el cultivo predominante. En menor proporción se encuentran los cultivos de cereales, hortalizas y flores.

**Suelo desnudo:** Son todas las terrenos sin vegetación, con suelo sin cobertura de ningún tipo.

**Urbanización:** Se distinguen cuatro tipos de construcción: las casas de habitación, los edificios de empresas, las construcciones dentro de fincas y las carreteras.

**Puntos de descarga.** Son las fuentes de contaminación directa, química u orgánica, en forma de descarga de efluentes industriales y domésticos, así como también acumulaciones o depósitos de basura sólida. Fueron determinados por conteo directo en el campo.

**Marcas de erosión.** Se incluyen en este grupo los surcos, cárcavas, depósitos aluviales y afloramientos localizados del substrato rocoso. La intensidad de la erosión fue evaluada de manera cualitativa y a cada marca de erosión se le asignó un valor de acuerdo con la siguiente escala: 0 = ausencia de marca; 1 = presencia de marcas, 2 = presencia de marcas muy extendidas, 3 = presencia de marcas muy extendidas y de profundidad considerable.

**Pendiente de las franjas ribereñas.** La pendiente fue estimada visualmente en grados.

#### Modo operativo

El trabajo se llevó a cabo entre marzo y mayo del 2000, al final de la estación seca en el Valle Central, por medio de la observación directa de los usos del suelo en una franja de 50 metros de ancho a ambos lados del río Bermúdez, a lo largo del cual se identificaron los segmentos descritos en la sección anterior. La evaluación se realizó a lo largo de un trayecto que se inició en un puente situado dos kilómetros aguas arriba del pueblo de Los Ángeles, cerca del nacimiento del río, hasta su desembocadura. Para efectos de este estudio, se denomina Lado A a la margen izquierda del río, y Lado B a la margen derecha del río, en ambos casos mirando aguas abajo.

#### Análisis de datos

La relación entre los diferentes parámetros de cobertura, pendiente y marcas de erosión fue calculada por kilómetro. Para determinar cuán significativas son las relaciones entre parámetros, se calcularon coeficientes de correlación.

#### Estimación de la capacidad de las áreas ribereñas del río para reducir la erosión

Se tomaron en cuenta tres factores: el tipo de cobertura, el área cubierta por la misma y la pendiente.

Tipo y función de la cobertura. Es conocido el hecho de que cada tipo de uso del suelo tiene un efecto diferente sobre la producción de sedimentos (Dunne y Dietrich 1982). Por esto, se asignó un coeficiente entre 0 y 10 a cada tipo de cobertura, que representa su capacidad relativa para resistir a la erosión (Cuadro 1).

Se asignó al bosque natural, en estado primario o en crecimiento secundario, el coeficiente más alto (10), tomando en cuenta que estas zonas son las que poseen mayor resistencia a la erosión (Derksen 1991). Las plantaciones de árboles, a causa de su uniformidad, son menos capaces de detener el arrastre de suelo que los bosques naturales, por lo que se les asignó un coeficiente de 8. Las áreas con árboles aislados tienen un coeficiente de 6 porque no forman conjuntos, es decir, estructuras vegetales eficientes para impedir la erosión, aunque tampoco la favorecen.

Las cercas vivas tienen efectos diferentes según su posición en relación con el río. Una cerca de posición A (paralelo al río) tiene un coeficiente relativamente alto (7) porque forma una barrera a la escorrentía. Al contrario, una cerca de posición B (perpendicular al río) tiene el coeficiente más bajo (3) porque más bien puede canalizar el escurrimiento superficial del agua y así favorecer la erosión. Las cercas de posición C tienen un coeficiente medio (5) porque son una mezcla de los dos anteriores.

Varios autores (FAO 1967; Derksen 1991; Forsythe 1991) coinciden en que los pastos constituyen el mejor tipo de cobertura posible, después de los bosques, para impedir la erosión. Se ha señalado que los pastos sufren a veces un dete-

**Cuadro 1.**

Capacidad de cada tipo de cobertura para reducir la erosión en las márgenes del río Bermúdez

Cobertura	Coefficiente asignado
Bosque natural	10
Plantación de árboles (monocultivo)	8
Arboles aislados	6
Cerca viva, posición A	7
Cerca viva, posición B	3
Cerca viva, posición C	5
Pasto	7
Charral	4
Café	5
Otro cultivo (no permanente)	4
Suelo desnudo	1
Casa de habitación	1
Edificio de empresa	1
Construcción en finca	1
Carretera	0

rioro importante debido al pisoteo por el ganado, proceso que destruye la cobertura vegetal y compacta el suelo (Cervantes y Vahrson 1991). Sin embargo, las áreas evaluadas en este estudio prácticamente no han estado sujetas a sobrepastoreo a causa de la cría de ganado. Fueron incluidas en la categoría de pastos las áreas con una amplia cobertura de gramíneas, con un coeficiente de 7. Las áreas con pastos dañados por cualquier motivo, generalmente incluyeron también un gran porcentaje de suelo desnudo, por lo que se les asignó un coeficiente más bajo.

Los charrales tienen una eficiencia media como reductores de la erosión. Generalmente son quemados generalmente cada año en la estación seca y no tienen tiempo para desarrollar un sistema de raíz importante para frenar el arrastre de partículas de suelo. Además, algunas especies presentes en los charrales, con un sistema radicular poco desarrollado, son arrastradas por el agua en la época de lluvias más intensas, quedando un suelo desnudo durante ciertos periodos del año. Por esta razón, se les asignó un coeficiente de 4.

El café es un cultivo permanente y tiene un sistema radicular con una profundidad máxima de 60 cm. Por tanto, se considera más eficiente que los charrales para impedir la erosión. Pero, a causa de la estructura

y distribución de las plantas y de las prácticas culturales (poda de ramas al final de la estación seca, distancia entre los arbustos), se considera que no puede alcanzar la eficiencia de un pasto. Se le asignó un coeficiente de 5. La eficiencia de los cultivos anuales para detener la erosión es, evidentemente, menor que la de los cultivos permanentes (Dercksen 1991), por lo que se le atribuye un coeficiente de 4.

El suelo desnudo es prácticamente incapaz de impedir la erosión (FAO 1967), por lo que se le asignó un coeficiente de 1.

Es sabido que las áreas urbanizadas, al impermeabilizar los suelos y disminuir la capacidad de infiltración de agua en los mismos, favorecen significativamente la escorrentía superficial (Marsh 1997) y concentran y desvían los caudales en determinadas direcciones. Por esta razón, las áreas cubiertas por construcciones favorecen, de manera indirecta, la erosión en las franjas ribereñas. Por otro lado, los edificios, paredes y tapias pueden funcionar como barreras para la entrada de agua y sustancias disueltas o en suspensión al río. Para tomar en cuenta ambos factores se asignó a las construcciones en general, incluyendo las casas de habitación y edificios, un coeficiente de 1, mientras que las calles, carreteras y otras superficies asfaltadas tienen un coeficiente de 0.

Tomando en cuenta lo anterior, se considera que la **capacidad de la cobertura** para reducir la erosión (CC) es el producto de la multiplicación del **coeficiente de cobertura** por el **área ocupada** (en porcentaje).

Así, la ecuación para calcular la capacidad para reducir la erosión (CC)

se expresa de la siguiente forma:

$$CC = \sum_{i=1}^n (\text{Coeficiente } Co_i * A_i)$$

donde,

**CC**: capacidad de la cobertura para reducir la erosión.

**Co<sub>i</sub>**: coeficiente para cada tipo de cobertura, asignado según la escala de 1 a 10.

**A<sub>i</sub>**: área ocupada por cada tipo determinado de cobertura, expresada en porcentaje de espacio ocupado por esta cobertura.

**n**: número de tipos de cobertura presentes.

**Función de la pendiente.** Para tomar en cuenta la influencia de la pendiente se creó el **coeficiente de pendiente** (CP). Como la erosión aumenta de una manera exponencial en función de pendiente (Sánchez y Álvarez 1991), el coeficiente tiene que hacer bajar la capacidad de las márgenes para reducir la erosión en la misma proporción. El coeficiente varía entre 0 y 1 y es dado por la fórmula siguiente:

$$CP = -0.0003x^2 + 1$$

donde,

**CP** = coeficiente de pendiente

**x** = pendiente en grados

De esta manera, una pendiente de 10° tiene un coeficiente de 0,97 y una pendiente de 55° tiene un coeficiente de 0,093. Un CP de 0, resulta que se alcanza para ángulos de 58° y mayores, no tiene capacidad para reducir la erosión. Mientras tanto, un CP de 1, que se alcanza para terrenos planos donde la pendiente x es cero, tiene la máxima capacidad. Otros valores se pueden obtener usando la ecuación o directamente de la Fig. 2.

La **capacidad de las franjas ribereñas** para reducir la erosión (CM) está dada por:

$$CM = CC * CP$$

El valor mínimo que toma la CM es cero, que se alcanza cuando el CP es cero (pendiente >58°) o si la CC es cero (por ejemplo, si toda el área está asfaltada). El máximo valor de CM es 10, por ejemplo, en el caso de que el área esté ocupada por bosque (coeficiente Co = 10), sobre todo en terreno plano (CP = 1).

### Resultados

#### Cambios en la topografía y en el uso del suelo

Las pendientes de las franjas ribereñas y el uso del suelo son semejantes a cada lado del río a lo largo de su extensión (Fig. 3). Desde el kilómetro 0 (cerca del nacimiento) al 2, las pendientes son bajas (<5°). En el kilómetro 3, aumentan mucho hasta alcanzar un promedio de 30°. Se mantienen altas hasta el kilómetro 13. Después, disminuyen gradualmente hasta el kilómetro 18, para seguir con un promedio entre 5° y 10° hasta la desembocadura. En resumen, el río Bermúdez posee en sus márgenes una topografía muy quebrada entre los kilómetros 3 y 13.

El estudio de los cambios en las coberturas a lo largo del río ha revelado cinco segmentos diferentes (Fig. 4):

#### Segmento 1

**Parte superior del río, kilómetros 0 a 3.** Las dos márgenes del río tienen una cobertura del suelo semejante, con un predominio de árboles (35%) y de pastos (30%). La urbanización ocupa un 17% del área. Las otras coberturas son bajas. Así, estamos en una zona rural de pastos rodeados de cercas vivas y de bosques. La urbanización se encuentra en forma de carreteras y edificaciones aisladas alrededor del pueblo de Los Ángeles.

#### Segmento 2

**Parte media del río, kilómetros 4 a 12.** Las dos franjas ribereñas son todavía semejantes. Observamos un descenso en el área cubierta de árboles (hasta un 25%) y una baja significativa en el área de pastos (hasta <5%). La urbanización se mantiene cerca de 10%. Hay un aumento significativo de los cultivos, charrales y suelo desnudo (20% cada uno).

Esta parte corresponde a una zona de cafetales en pendientes fuertes, asociadas a grandes zonas de suelo desnudo. Existen algunas zonas de urbanización, concentradas en las cercanías de los puentes y que pertenecen a los pueblos de San

Rafael, San Pablo y Santo Domingo. Los bordes del río están a menudo cubiertos de charrales, sobre tierras no utilizadas, en pendientes fuertes.

#### Segmento 3

**Parte baja del río, kilómetros 13 al 18.** Se detectó una diferencia en el uso de la tierra entre una margen del río y la opuesta. En el lado izquierdo, los pastos aumentan (20%), paralelamente a una ligera baja de la urbanización, árboles y cultivos. En cambio, en el lado derecho, aumenta la urbanización (20%) y un poco los charrales (27%) y los pastos (10%), mientras que bajan los cultivos, árboles y el suelo desnudo.

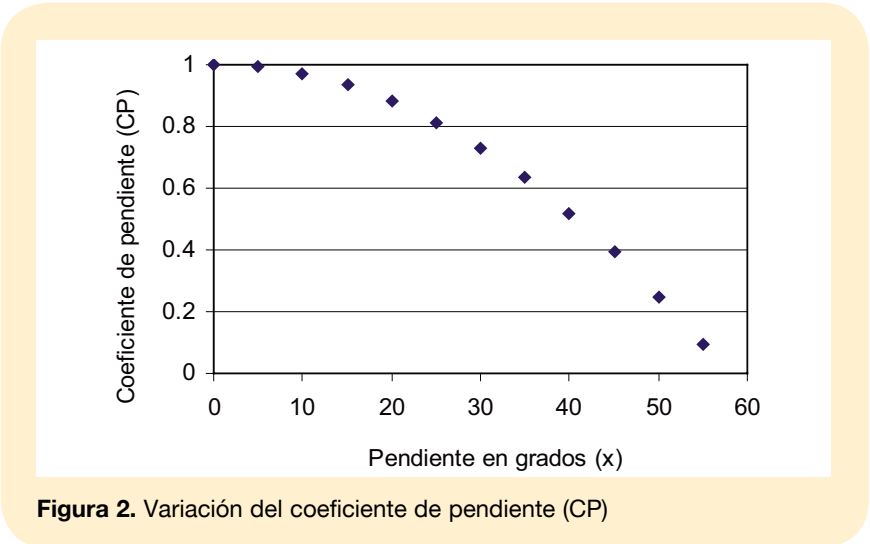


Figura 2. Variación del coeficiente de pendiente (CP)

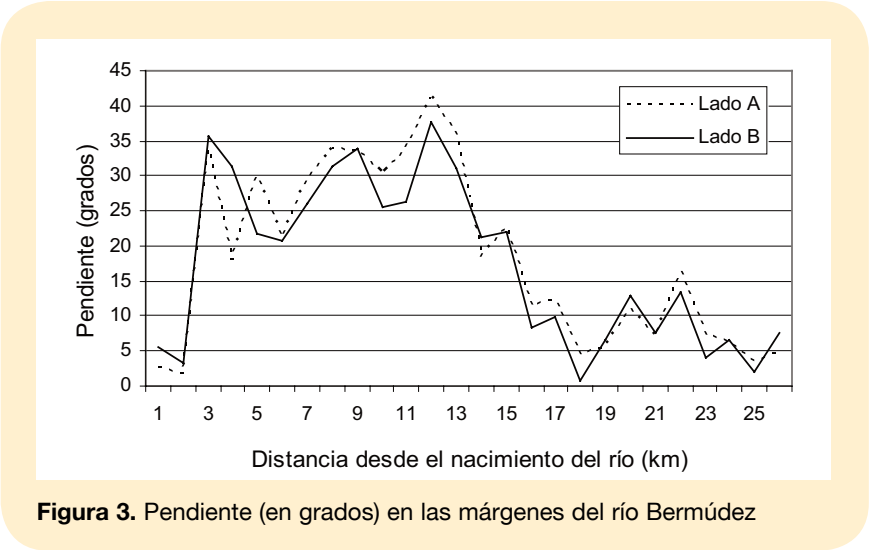


Figura 3. Pendiente (en grados) en las márgenes del río Bermúdez

Esta porción corresponde a una zona de transición, tanto con relación al uso del suelo como en la reducción gradual de las pendientes. Conforme las pendientes disminuyen, los cafetales se reducen y los pastos reaparecen, pero esta vez en forma de jardines y campos recreativos en áreas residenciales. La urbanización es más fuerte sobre la margen derecha.

#### Segmento 4

**Parte baja del río, kilómetros 19 al 21.** Los dos lados siguen siendo diferentes. Del lado izquierdo podemos observar un incremento abrupto del área de pastos que alcanza un 60%. Paralelamente desaparecen los cultivos, mientras que la cobertura de suelo desnudo, la urbanización y los charrales bajan. Del lado derecho, los pastos aumentan (25%), mientras que el café desaparece y los charrales bajan (15%). Se pudo notar un pequeño aumento de la urbanización (26%).

#### Segmento 5

**Parte baja del río, kilómetros 22 al 26.** La margen izquierda muestra una fuerte baja en el área ocupada

por pastos (20%), mientras que los charrales (35%) y el suelo desnudo (15%) aumentan de nuevo. Estos kilómetros se caracterizan también por la reaparición de los cultivos (5%). La urbanización se mantiene con una tasa de 10%. Del lado derecho, observamos también una reaparición de los cultivos (5%) y un aumento en el porcentaje de suelo desnudo (18%), mientras que la urbanización cae a 12%.

En esta parte aparecen cultivos anuales tales como culantro (*Coriander sativum*), repollo (*Brassica oleacea*), tomate (*Lycopersicon esculentum*) y maíz (*Zea mays*). La urbanización se concentra alrededor del eje de carreteras entre San Vicente y San Rafael de Alajuela. El río se aleja poco a poco de este eje, lo que explica la baja de la urbanización del lado derecho. De los dos lados, podemos observar un porcentaje relativamente alto de charrales y suelo desnudo, esta última proveniente de la quema de los charrales.

Como se observa, las coberturas de árboles, charrales, cultivos y suelo desnudo a un lado del río son casi la imagen especular de lo

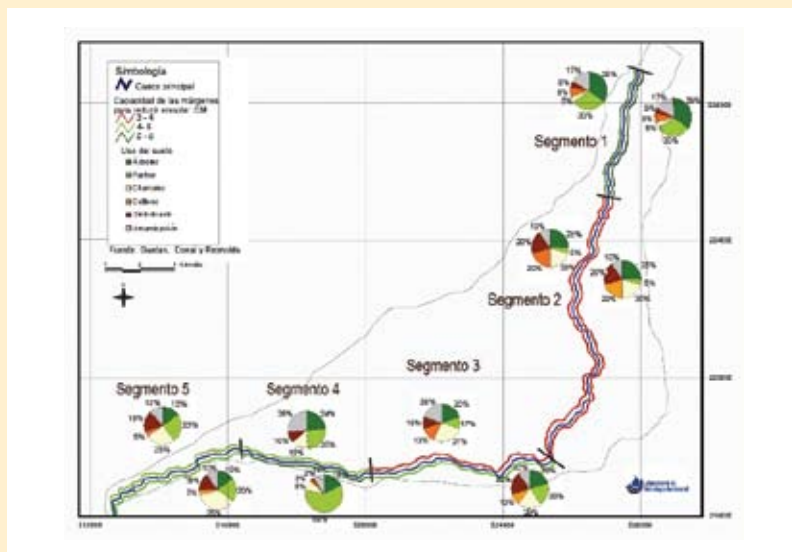
que ocurre en el lado opuesto. Sin embargo, aguas abajo la margen derecha se encuentra un poco más urbanizada que la margen izquierda que en cambio tiene más pastos.

#### Capacidad de las márgenes para reducir la erosión (CM)

En la Fig. 5 se presenta el cálculo de la CM para cada kilómetro a lo largo del río. Hasta el kilómetro 3, la capacidad de la margen izquierda para impedir la erosión (CM) es moderada debido al carácter rural de la zona, con presencia de pastos y bosques. Pero, conforme disminuye la elevación, aparecen zonas de cafetales mezcladas con suelo desnudo en pendiente fuertes, que tienen capacidades muy reducidas para impedir la erosión (promedio <3 entre el kilómetro 4 y el kilómetro 16). El aumento progresivo de áreas cubiertas por pastos causa un incremento de la CM, la cual alcanza valores superiores a 5 entre los kilómetros 18 y 21. Después, la presencia de charrales quemados estabiliza la CM en valores cercanos a 4.

El lado derecho se caracteriza también por una CM baja (cerca de 4 en promedio). No obstante, las variaciones de la CM a lo largo del río son menos pronunciadas que en el lado izquierdo. Hasta el kilómetro 17 las variaciones son parecidas. A partir del kilómetro 18 las márgenes tienen valores CM muy reducidos (promedio <3). El ligero aumento en el porcentaje de pastos y charrales hace que la CM suba un poco hasta el valor 4 y se estabiliza entre los kilómetros 18 y 26. En el kilómetro 25, la presencia más fuerte de pastos sube la capacidad hasta 5.

Los resultados indican que los factores que más influyen sobre la capacidad de las márgenes para impedir la erosión son: el grado de inclinación de la pendiente y la presencia de pastos. Existe una correlación positiva entre la cobertura de pastos y la CM en ambas márgenes del río (lado izquierdo:  $r = 0.90$ ; p



**Figura 4.** Uso del suelo (en porcentaje) y capacidad de las márgenes (CM) del río Bermúdez para reducir la erosión. Los cinco segmentos en que se ha dividido el río se analizan en el texto.

<0.01; lado derecho  $r = 0.78$ ;  $p < 0.01$ ). Por otra parte, hay una correlación inversa entre la pendiente y la CM (lado izquierdo:  $r = -0.81$ ;  $p < 0.01$ ; -lado derecho  $r = -0.72$ ;  $p < 0.01$ ).

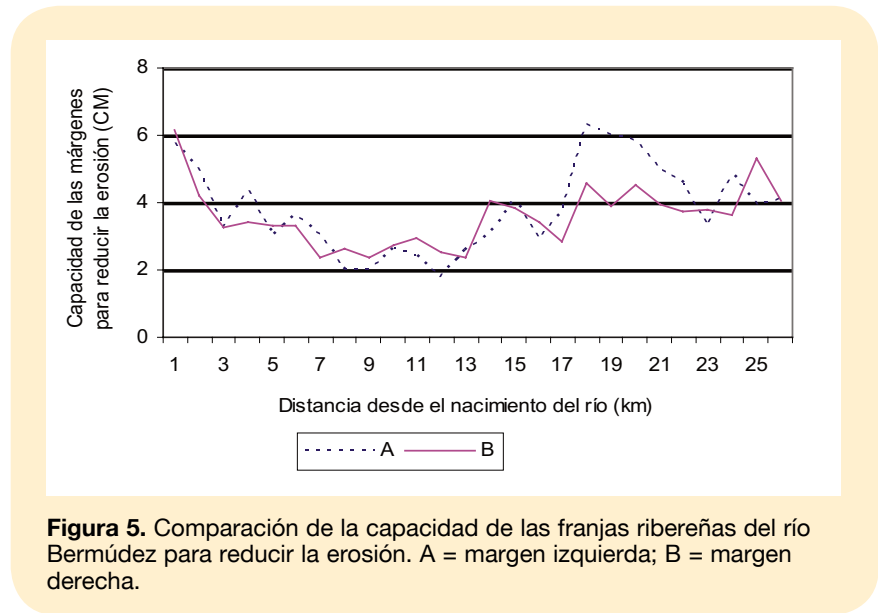
### Comparación entre la erosión observada y la capacidad de las márgenes para impedir la erosión (CM)

Se calcularon los coeficientes de correlación entre la intensidad de la erosión observada y la CM estimada. Se encontró una correlación muy alta a ambos lados del río:  $-0.911$  ( $p < 0.01$ ) para el lado izquierdo y  $-0.698$  ( $p < 0.01$ ) para el lado derecho. Esto indica que la CM estimada utilizando la fórmula propuesta es un parámetro válido.

Como se mencionó anteriormente las áreas de cafetales (kilómetros 4 al 17) tenían una capacidad relativamente baja para impedir la erosión. En efecto, existe una correlación significativa entre el café y la pendiente sobre el lado izquierdo ( $r = 0.73$ ,  $p < 0,05$ ) y una correlación alta, aunque no significativa, sobre el lado derecho ( $r = 0.53$ ,  $p < 0,05$ ). Esta baja capacidad natural de los cafetales está agravada por una tendencia a la ausencia de coberturas bajas que acompañen al café ( $r_I = -0.6$ ,  $p < 0,05$  y  $r_D = -0.5$ ,  $p < 0,05$ ) que dejan sitio a la tierra desnuda (correlación pastos – tierra desnuda =  $-0.71$  en el lado A).

### Contaminación de las aguas por desechos líquidos y sólidos

Se pudieron observar cerca de 180 puntos de descargas líquidas y más de 70 sitios dedicados a la descarga de desechos sólidos a lo largo del río, tanto de origen doméstico como industrial y agrícola. No existe una correlación importante entre el porcentaje o la densidad de urbanización y el número de puntos de descarga. Sin embargo, es probable que el número de puntos de descarga esté subestimado, ya que no siempre fue posible la observación y cuantificación directa de los mismos. Por



**Figura 5.** Comparación de la capacidad de las franjas ribereñas del río Bermúdez para reducir la erosión. A = margen izquierda; B = margen derecha.

otra parte, algunos puntos de descarga drenan las aguas domésticas de barrios ubicados fuera de los 50 metros correspondientes a la franja que se analizó. Así, la presencia de puntos de descargas en un lugar no siempre indica la presencia de urbanización en la zona evaluada.

### Discusión y conclusiones

El análisis de los resultados permite concluir que la capacidad de las franjas ribereñas para impedir la erosión es relativamente baja a todo lo largo del río Bermúdez y que el uso del suelo en las franjas cercanas al río varía mucho sobre distancias a menudo muy cortas. Los valores de CM obtenidos fueron muy diferentes según los lugares. Esto puede explicarse en función de tres factores: a) la fuerte pendiente, b) la poca presencia de bosques protectores o pastos en las márgenes del río Bermúdez y c) la urbanización continua cerca de todo el lecho del río.

Es evidente que las prácticas actuales de cultivo del café en zonas de pendiente pueden favorecer los procesos erosivos. Como el factor pendiente no se puede modificar, es probable que si se acompaña el café con otro cultivo estacional que sirva de cobertura, como puede ser

el frijol (*Phaseolus vulgaris*), el chile dulce (*Capsicum annuum*) o cualquier otra herbácea, se consiga un incremento en el valor CM. Esto es particularmente importante en la zona marginal de 50 metros. Por otra parte, se hace necesario manejar adecuadamente las tierras bajo regeneración natural (charrales) y áreas de suelo desnudo. En la parte baja del río, la CM también se mantiene baja, debido principalmente a la presencia significativa de charrales quemados.

Es importante, pues, concentrar las acciones contra la erosión en las zonas que corresponden principalmente a cafetales en pendiente fuerte y a zonas bajo procesos de regeneración natural o charrales. Trabajar con los agricultores para reemplazar la asociación tierra desnuda/café por una asociación estrato herbáceo/café podría ser una solución. La quema de los charrales, considerado como un proceso de limpieza de terreno rápido y de bajo costo, constituye una forma de manejo inadecuado, que más bien favorece la erosión y la contaminación del río. Las quemadas periódicas, accidentales o provocadas, impiden la formación de un sistema de raíces denso y relativamente profundo y provoca igualmente la permanencia de suelo desnudo. Métodos de

manejo alternativos de áreas de charral deberían ser evaluados y recomendados a los agricultores.

Es probable que la contaminación difusa por sedimentos derivada de procesos erosivos sea poco significativa si se la compara con la contaminación directa por desechos líquidos y sólidos provenientes de las zonas urbanas. La urbanización no planificada en áreas cercanas al río parece ser responsable directa de gran parte de la contaminación ya que un alto porcentaje de las aguas domésticas son drenadas hacia el lecho del río. La presencia de puntos de descarga de desechos líquidos, observados a todo lo largo del cauce, revela un manejo deficiente de las aguas negras, además del hecho de que no existe alcantarillado sanitario vinculado a plantas de tratamiento en toda la cuenca. Es por esto que se hace urgente realizar acciones para mejorar el sistema de recolección y de tratamiento de las aguas servidas y los mecanismos de manejo de desechos sólidos. Por otra parte, es probable que la relación funcional existente entre el río y el acuífero Barva pueda estar, especialmente en los sectores donde el río es influente al acuífero, contribuyendo al deterioro de las aguas subterráneas, actualmente utilizadas por la población de diversas localidades de la provincia de Heredia y San José.

La urbanización está presente, en mayor o menor grado, a todo lo largo del río, e incluye desde zonas con casas y edificaciones aisladas en la parte superior del río hasta zonas de mayor densidad poblacional, en barrios populares o zonas residenciales. A pesar de que se sabe que el acceso a sistemas de recolección de desechos está a menudo vinculado con el nivel social del habitante o del barrio, en general se puede afirmar que el manejo de desechos, tanto sólidos como líquidos, es deficiente en toda la zona urbana o semiurbana cercana al río y que el efecto

contaminante de las edificaciones en las riberas de los ríos es significativo.

Además de la falta de conciencia de la población acerca del deterioro que sus propias actividades causan sobre las aguas, es evidente que la legislación no ha constituido una herramienta eficaz para inducir un manejo adecuado de los terrenos a las orillas de los ríos y para evitar las descargas de desechos. La construcción de un sistema de alcantarillado sanitario con plantas de tratamiento es la medida más urgente para evitar que continúe la contaminación de los ríos. La penalización de la actividad ilegal y la mejora en el sistema municipal de recolección de basuras son también medidas efectivas para impedir que continúe el deterioro de las aguas del río y de sus márgenes. Los autores consideran que la lucha contra la contaminación directa por descargas de desechos en el río tiene

que ser prioritaria y realizarse antes de cualquier acción contra la contaminación causada por procesos erosivos. Parecería poco lógico tratar de convencer a los agricultores de que modifiquen sus prácticas culturales, mientras que la situación al nivel de las descargas cloacales no se mejora.

### Agradecimientos

El presente proyecto fue realizado con financiamiento proveniente del Laboratorio de Hidrología Ambiental de la Universidad Nacional (UNA). Se agradece la colaboración de la Lic. Ivette Inostroza, Directora de la Escuela de Ciencias Biológicas de la UNA y del señor Julio Fraile, del Laboratorio de Hidrología Ambiental. Asimismo, los autores agradecen los comentarios y sugerencias proporcionadas por revisores anónimos.

### Literatura citada

- Castro, L. Fraile, J; Reynolds Vargas, J. 1996. Conductividad, oxígeno disuelto, pH y temperatura en el río Bermúdez (Costa Rica) y su relación con el uso del suelo en la cuenca. *UNICIENCIA* 13:27-34.
- Cervantes, C; Vahrson, WG. 1991. Características de los suelos y pérdidas de nutrientes en Cerbatana de Puriscal, Costa Rica. *In* Memorias de Taller sobre Erosión de Suelos. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. p. 131-143.
- Dercksen, PM. 1991. A soil erosion mapping exercise in Costa Rica: Purposes, methodology, and results. *In* Memorias de Taller sobre Erosión de Suelos. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica . p 164-169.
- Dunne, T; Dietrich, W. 1982. Sediment Sources in Tropical Drainage Basin. *In* Soil Erosion and Conservation in the Tropics. Madison, WI, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. p. 41-55. (ASA Special Publication no. 43).
- FAO. 1967. La erosión del suelo por el agua. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 207 p. (Cuadernos de Fomento Agropecuario N° 81).
- Forsythe, WM. 1991. Algunas prácticas culturales y la erosión en Costa Rica. *In* Memorias de Taller sobre Erosión de Suelos. Universidad Nacional de Costa Rica. p. 171-179.
- Holdridge, LR. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). San José, CR. 216 p.
- IGN. 1990. Hojas Cartográficas 1:10000. Instituto Geográfico Nacional (IGN). San José, CR.
- IMN. 2005. Archivos de Precipitación del Instituto Meteorológico Nacional (IMN). San José, Costa Rica.
- La Gaceta (Costa Rica). 1942. Ley No. 276. Ley General de Aguas. Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.
- \_\_\_\_\_. (Costa Rica). 1961. Ley No. 2825, Ley de Tierras y Colonización. Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.
- \_\_\_\_\_. (Costa Rica). 1996. Ley No. 7575, Ley Forestal. Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.
- Marsh, WM. 1997. Landscape Planning: Environmental Applications. Third Edition. John Wiley & Sons.
- Reynolds Vargas, J. 1996. Las aguas subterráneas en Costa Rica: Un recurso en peligro. *In* Utilización y Manejo Sostenible de los Recursos Hídricos. Editorial FUNA, Heredia, CR. p. 157-165.
- Sánchez, AM; Alvarez, GP. 1991. Aplicación de la EUPS a nivel de una microcuenca: El caso de la quebrada Pital. Puriscal. *In* Memorias de Taller sobre Erosión de Suelos. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. p. 144-163.
- UNEP. 1994. The pollution of lakes and reservoirs. Nairobi, Kenya, UNEP Environmental Library No. 12. p. 35.
- Winter TC; Judson, WH; Franke, OL; Alley, WM. 1998. Ground Water and Surface Water A Single Resource. Denver, Colorado, U.S.A, U.S. Geological Survey Circular 1139.

# ¿Cómo seleccionar una definición de bosque para el mecanismo de desarrollo limpio?

Celia Martínez-Alonso<sup>1</sup>;  
Pablo Imbach<sup>2</sup>; Bruno Locatelli<sup>3</sup>

La selección de los parámetros de definición de bosque para participar en el MDL tiene implicaciones significativas, tanto en las áreas que podrán ser elegidas para realizar proyectos forestales de reforestación y forestación, como en el tipo de actividad que se quiera realizar. En este sentido, es importante contar con la información y recomendaciones necesarias para que los países puedan tomar decisiones que realmente favorezcan a sus propias realidades nacionales y expectativas dentro del MDL..



Foto: Celia Martínez-Alonso.

<sup>1</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE; CIFOR-INIA, Crta. Coruña Km. 7,5 28040 Madrid, España. cmalonso@catie.ac.cr

<sup>2</sup> Grupo Cambio Global, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. pimbach@catie.ac.cr

<sup>3</sup> CIRAD UPR Forest Resources, Montpellier, France. bruno.locatelli@cirad.fr; Grupo Cambio Global, CATIE



## Resumen

Para participar en el mecanismo de desarrollo limpio (MDL), establecido por el Protocolo de Kioto, los países en vías de desarrollo (No-Anexo 1) deben establecer una definición de bosque acorde con la normativa establecida por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en la 7ª conferencia de las Partes. Dicha definición debe especificar los valores mínimos de los siguientes tres parámetros: altura *in situ* de los árboles maduros, porcentaje de cobertura de copa y área mínima de superficie boscosa. Una buena identificación y definición de los valores mínimos permitirá a los países desarrollar exitosamente proyectos MDL en el sector forestal, de manera que favorezcan los intereses socioeconómicos y ambientales de cada país. La selección de los parámetros tiene implicaciones muy significativas, tanto en las áreas elegibles para realizar proyectos forestales de reforestación y forestación, como en el tipo de proyecto (plantaciones forestales, agroforestería, etc.). En este sentido es importante contar con la información y recomendaciones necesarias para que los países puedan tomar decisiones que realmente favorezcan a sus propias realidades y expectativas dentro del MDL. En este trabajo se presenta un método que facilita la toma de decisión sobre la selección de los valores mínimos de dichos parámetros. Además se presenta un estudio de caso en Guatemala, donde se aplicó este método en un taller participativo con actores del sector forestal público y privado.

**Palabras claves:** Bosques; sector forestal; forestación; reforestación; Protocolo de Kioto; mecanismo de desarrollo limpio; proyectos forestales; participación comunitaria; investigación participativa; toma de decisiones; estudios de casos; Guatemala.

## Summary

**How to Select a Definition of Forest for the Clean Development Mechanism?** To participate in the Clean Development Mechanism (CDM) of the Kyoto Protocol, developing countries need to choose a forest definition, according to the decision taken by the 7<sup>th</sup> Conference of the Parties of the United Nations Framework Climate Change Convention. The definition requires selecting minimum values for three parameters: tree height at maturity *in situ*, percentage crown cover and minimum areas. The selected parameters will have an impact on the potential areas for afforestation and reforestation projects as well as in the type of eligible activities (i.e. forest plantations or agroforestry systems). It is important for developing countries to receive information and recommendations to take the decision according to their priorities under the CDM. This paper presents a method of analysis for supporting the selection of forest definition. A case study is also presented for Guatemala, where the method was applied in a workshop with representatives of the private and public forest sector.

**Keywords:** Forests; forest sector; afforestation; reforestation; Kyoto Protocol; Clean Development Mechanism; forest projects; community participation; participative research; take of decisions; studies of case; Guatemala.

## Introducción

Como parte de los mecanismos de flexibilidad, el Protocolo de Kioto establece la posibilidad de que los países desarrollados (países del Anexo 1) compren créditos de carbono provenientes de proyectos de reforestación y forestación en países en vías de desarrollo (países no Anexo 1), en el marco del mecanismo de desarrollo limpio (MDL). Para que los países no Anexo 1 puedan participar de este mecanismo, se exige una definición de bosque específica para el MDL. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), organismo regulador del Protocolo de Kioto, estableció que dicha definición debe tomar en cuenta criterios morfológicos basados en tres parámetros cuantitativos (UNFCCC 2002): altura *in situ* de los árboles maduros, porcentaje de cobertura de copa y área mínima de superficie boscosa (IPCC 2003). En la decisión 11 de la 7ª conferencia de las Partes, la CMNUCC estableció los siguientes valores mínimos de referencia para dichos parámetros: altura de árbol entre 2 y 5 m, cobertura de copa entre 10 y 30% y área de superficie boscosa entre 0,05 y 1 ha.

Una vez que el país haya decidido sobre la definición de bosque que va a usar para el MDL, deberá notificarlo a la Junta Directiva de la CMNUCC por medio de la Autoridad Nacional Designada (AND); tal definición será válida para el primer periodo de compromiso de reducción de emisiones (2008-2012). Los proyectos que quieran participar en el MDL deberán demostrar que el uso de la tierra no era bosque antes del inicio del proyecto, y que había dejado de serlo antes del 31 de diciembre de 1989. Por esta razón, definir con exactitud qué es bosque es de primordial importancia para participar en el MDL forestal.

La selección de los parámetros de definición de bosque tiene implicaciones significativas, tanto en las áreas que podrán ser elegidas para realizar proyectos forestales de reforestación y forestación, como en el tipo de actividad que se quiera realizar (plantaciones forestales, agroforestería, etc.). En este sentido, es importante contar con la información y recomendaciones necesarias para que los países puedan tomar decisiones que realmente favorezcan a sus propias realidades nacionales y expectativas dentro del MDL. Es un hecho que la mayoría de los países tienen diversos ecosistemas en sus territorios, lo que hace compleja la selección de una definición de bosque a nivel nacional. Por eso se deben considerar las prioridades del país en cuanto a los proyectos forestales MDL. Para determinar la definición óptima es necesario, en primer lugar, conocer los cambios de uso del suelo prioritarios para el MDL en el país y, en segundo lugar, caracterizar las coberturas y usos del suelo actuales y de las posibles actividades de proyectos forestales MDL.

Cuando un país considera que los valores altos de los parámetros de definición de bosque le convienen, implica que tendrá muchas áreas que no son bosque antes de iniciar los proyectos, y por tanto, muchas áreas potenciales donde se puedan desarrollar proyectos forestales MDL o áreas Kioto (Fig. 1). La selección de valores máximos es la mejor opción cuando el escenario de proyecto involucra una cobertura del suelo que sobrepasa los valores máximos de los parámetros (p.e., una plantación forestal en la zona tropical húmeda donde los árboles superen el rango de los tres parámetros). En este caso se tiene seguridad de que la actividad de proyecto llegará a ser bosque y además se maximizan las tierras elegibles, ya que un área mayor tendría cobertura de suelo sin bosque al 31 de diciembre de 1989. Sin embargo, un país que

escoge valores máximos tendrá que considerar que no todas las actividades forestales posibles llegarán a generar bosque en un futuro. En caso de que se trate de actividades de proyecto silvopastoriles, agroforestería o plantaciones forestales en zonas de bajo crecimiento, es probable que con parámetros altos no se logre un cambio de cobertura a bosque.

Por el contrario, si un país elige los valores más bajos de los parámetros, esto implica que tendrá más áreas que pueden ser bosque antes de iniciar el proyecto, por lo que tendrá menos tierras disponibles para realizar proyectos forestales MDL pero más actividades que pueden llegar a ser bosque.

Ante la dificultad de seleccionar una definición que favorezca los intereses nacionales, surge la idea de elaborar una herramienta para facilitar la toma de decisiones. En la actualidad (junio 2007), 27 países (12 latinoamericanos) han reportado su definición de bosque a la Junta Directiva de CMNUCC. Por lo tanto, el debate está pendiente en la mayoría de los países con interés de participar en el MDL.

Este trabajo presenta un método para seleccionar la definición de bosque, a través de un estudio de caso realizado en Guatemala mediante un taller participativo con los sectores forestales interesados en el desarrollo de proyectos MDL. El método se fundamenta en el efecto que tiene la definición de bosque sobre el tipo de proyectos MDL con potencial para un país, por lo que debe representar los intereses de los diferentes sectores de la sociedad involucrados.

## Material y métodos

El método busca ayudar en la toma de decisión sobre la definición de bosque para proyectos forestales MDL, aplicable a cualquier país, independientemente de sus características. El método considera la organización de un taller participativo

con representantes de todos los sectores de la sociedad implicados en el desarrollo de proyectos forestales MDL. El taller se debe desarrollar en tres partes:

■ **Primera parte:** *Presentación de los intereses nacionales sobre el MDL*  
Se parte del supuesto de que los representantes de los sectores conocen las características de un proyecto MDL forestal y que cuentan con información referente a los parámetros de definición de bosque, las posibles actividades de proyecto y los usos/coberturas del suelo presentes en el país. Los representantes de los sectores interesados en el MDL deberán exponer sus intereses hacia el MDL y la definición de bosque que más les conviene, en función de sus características particulares.

■ **Segunda parte:** *Prioridad de las actividades de proyecto*  
Se identifican las diferentes actividades de proyecto que tienen potencial para el país. Se deben describir los tipos de cambio de uso del suelo (es decir el uso del suelo de la línea base y la actividad de proyecto) en que los actores tienen interés. Se deben seleccionar las actividades que cumplan con los requisitos del MDL, las cuales se evalúan en términos de áreas disponibles para la actividad, generación de Certificados de Reducción de Emisiones (CER, por sus siglas en inglés) e impactos socioeconómicos y ambientales. Se debe llegar a un consenso entre los sectores afectados en cuanto a cuáles deben ser las actividades prioritarias, de manera que la definición de bosque favorezca el desarrollo de las mismas. Una opción para llegar al consenso es la formación de grupos de trabajo con los participantes del taller. Cada grupo debe dar un puntaje a las actividades prioritarias, para luego calcular un promedio entre los grupos con los puntos obtenidos para cada actividad. Este

proceso se repite hasta que el puntaje asignado por cada grupo se acerque al promedio general y todos los grupos se encuentren dentro de la desviación estándar del promedio para cada actividad. En este momento se considera que existe consenso y se obtiene entonces la priorización de las actividades de proyecto MDL para el país. Al final de cada iteración, a cada grupo se le indica la dirección en que debe ajustar el puntaje según el promedio y desviación estándar de todos los grupos, de manera que finalmente se llega a un promedio general donde los puntajes de cada grupo están dentro de la desviación estándar. Este proceso de puntaje hasta llegar al consenso se conoce como el método Delphi (Linstone y Turoff 2002).

■ **Tercera parte:** *Definición y selección de los parámetros de bosque*  
Una vez que se tienen las actividades priorizadas, se seleccionan los parámetros de definición de bosque que favorezcan a cada una de las actividades. La selección de los tres parámetros para cada actividad puede hacerse por interpretación directa si se conocen los parámetros exactos de cada actividad y los valores máximos o mínimos son la mejor opción (Fig. 1). También es posible emplear un cálculo más complejo que utiliza mediciones y estimaciones directas de los parámetros en campo (Fig. 2). Una opción para agilizar el trabajo es calcular los parámetros a través de una hoja de cálculo. Utilizando datos sobre la distribución de altura dominante, cobertura forestal y

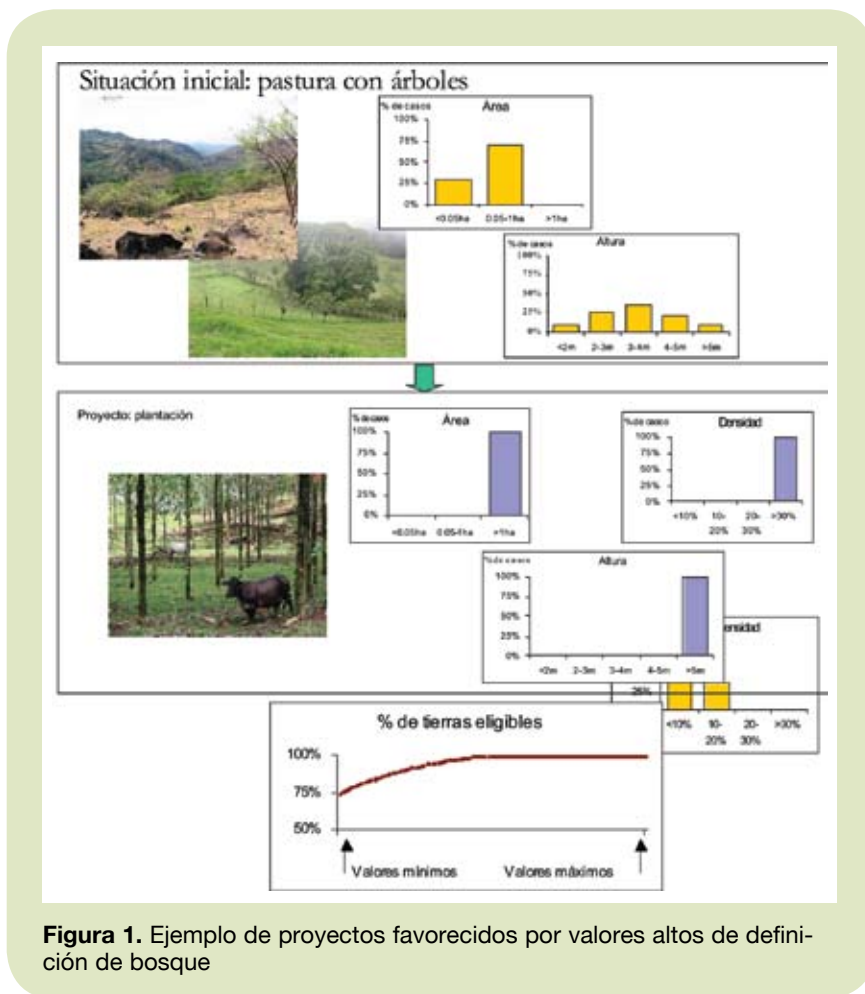


Figura 1. Ejemplo de proyectos favorecidos por valores altos de definición de bosque

área de los usos del suelo, se puede calcular para varias combinaciones de valores de definición de bosque la cantidad de proyectos elegibles. Para el uso del suelo de la línea base, se calcula el porcentaje de áreas que están debajo de la definición de bosque. Para la actividad de proyecto, se calcula el porcentaje de áreas que están arriba de la definición de bosque. Por diferencia, se estima el efecto de la definición sobre los proyectos elegibles.

Una vez que se obtienen las definiciones de bosque que favorecen a cada actividad priorizada, se pueden presentar dos situaciones: que las definiciones para las actividades prioritarias sean similares o diferentes. En el primer caso, el proceso acaba allí. En el segundo caso, la decisión no es tan sencilla. Se debe, entonces, realizar un análisis detallado entre las ventajas que presenta cada actividad respecto a las variables discutidas en el paso anterior, así como sus características y el efecto que tiene la selección de parámetros en su futuro dentro del MDL.

## Resultados

### Taller con actores nacionales del sector forestal

Durante los días 20 y 28 de agosto de 2006, se celebró en Ciudad de Guatemala, Guatemala, el “Taller Nacional para la Definición de Bosque en los Proyectos Forestales de MDL en Guatemala”, organizado por Fundación Solar con apoyo de la AND de Guatemala y del Grupo Cambio Global del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). En este taller participaron 47 personas representantes de las siguientes 13 instituciones y/o organizaciones nacionales: AGER (Asociación de Generadores con Energía Renovable), ANACAFE (Asociación Nacional del Café), CARE (ONG), CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas), Forestal Guatemala, Gremial Forestal,

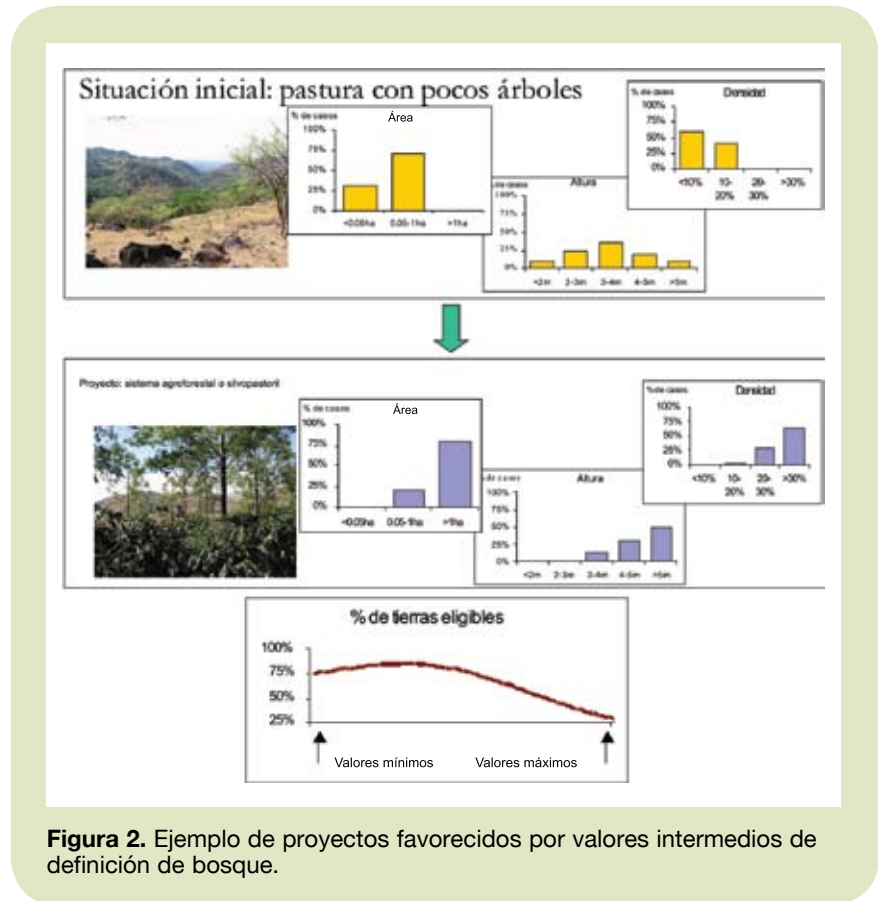


Figura 2. Ejemplo de proyectos favorecidos por valores intermedios de definición de bosque.

Gremial de Huleros, INAB (Instituto Nacional de Bosques), PAF-Maya (Plan de Acción Forestal-Maya), Pilonos de Antigua S.A. (Semilleros y Almacigos de Alta Calidad), Reforestadora Industrial S.A., SRMU (Spiegeler Rubio Markets Research) y UVG (Universidad del Valle de Guatemala).

El taller inició con una presentación sobre conceptos básicos y teoría del MDL. Luego se presentaron las prioridades de los diferentes sectores interesados en participar en proyectos forestales en el marco del MDL, incluyendo las definiciones de bosque para sus actividades. Los participantes en esta primera actividad fueron: AND de Guatemala, CATIE, INAB, MAGA, UVG, Gremial Forestal, CONAP, ANACAFE, Gremial Huleros y PAF-Maya. Posteriormente se realizó una discusión en grupo para definir una lista de actividades que

podrían promoverse en el país dentro del MDL (Cuadro 1). Dichas actividades se priorizaron con una adaptación del método Delphi; el puntaje se asignó a partir de cinco variables: adicionalidad, cantidad de CER, impacto social (número de beneficiarios), disponibilidad de tierras e impactos ambientales y socioeconómicos. Se hicieron tres asignaciones de puntajes hasta alcanzar el consenso entre los asistentes en cuanto a las actividades más importantes y con mayor potencial para generar proyectos forestales MDL.

Para cada actividad seleccionada los grupos definieron los parámetros óptimos de definición de bosque. Posteriormente, cada grupo presentó sus resultados a los demás participantes y se negociaron las prioridades para llegar a un consenso. Esta etapa permitió analizar, desde diferentes perspectivas, el efecto de la selección de parámetros. Los que

finalmente se seleccionaron fueron aquellos que representaron al mayor número de actividades prioritarias para el país (Cuadro 2). Para el caso de Guatemala, la definición de bosque a la que se llegó por acuerdo general fue: 5 m de altura de los árboles, 30% de cobertura de la copa y 0,5 ha de superficie boscosa mínima.

### Discusión y conclusiones

La definición óptima de bosque para un tipo de actividad (p.e., conversión de pasturas a sistemas agroforestales de café con sombra) depende de las características de la cobertura del suelo en el área del proyecto al 31 de diciembre de 1989 y una vez establecido el proyecto. Optimizar la cantidad de área elegible para el MDL, la cantidad de créditos generados o el número de actores involucrados son criterios importantes a considerar en la selección de los parámetros para definir el bosque.

El método empleado y el modelo de cálculo diseñado permiten evaluar el porcentaje de tierras elegibles en un país para cada tipo de actividad dentro del rango de los parámetros para la definición de bosque. Estos cálculos ayudan a evaluar el área elegible bajo todas las combinaciones de parámetros posibles, considerando la cobertura de cada uno de los parámetros a nivel nacional. Para ello se necesita un mapa de uso y cobertura del suelo, así como una caracterización de cada una de las clases de cobertura respecto a los tres parámetros.

El desarrollo del método para definir los parámetros de definición de bosque permitió a los participantes entender las consecuencias de la elección de parámetros. La aplicación de este método en el taller de Guatemala facilitó la toma de decisiones por parte del grupo de expertos designados por el país. La exposición de los intereses de los actores involucrados en las actividades forestales llevó a una reflexión

**Cuadro 1.**  
Actividades seleccionadas como prioritarias para Guatemala

Actividad	Inicio proyecto (año 1990)	Tipo de proyecto	Localización
Reforestación	Pasturas	Plantación forestal (latifoliadas, coníferas, palma africana, macadamia y hule)	Nacional
	Matorrales		Nacional
	Cultivos anuales		Nacional
	Café con sombra (*)		Boca-costa
	Zonas degradadas		Nacional
Hule	Pasturas	Hule	
	Café con sombra(*)		
Palma africana	Pastizales	Palma africana	Norte y Sur
	Matorrales		Norte y Sur
	Cultivos anuales		Norte y Sur
Macadamia	Zonas degradadas	Macadamia	Nacional entre 300-1500 m
Frutales	Cultivos anuales	Frutales	Nacional
	Matorrales		Nacional
Piñón	Matorrales	Piñón	Boca-costa
	Pasturas		Boca-costa
Regeneración asistida	Zonas degradadas	Bosque	Nacional
Sistemas silvopastoriles	Pasturas	Sistemas silvopastoriles	Nacional
Agroforestería	Cultivos anuales	Agroforestería	Nacional
Bambú	Zonas degradadas	Bambú	
Café con sombra	Café con sombra(*)	Café con bosque	

(\*) Debido a las características del sistema, cae en la categoría de bosque bajo cualquier definición por lo que no entraría como proyecto MDL.

y toma de decisión conjunta, donde todos los actores implicados tuvieron que considerar las opiniones de los demás, cediendo hasta llegar a un consenso satisfactorio para los intereses del país.

Un aspecto importante en la definición de bosque para Guatemala fue la selección de 0,5 ha de área de superficie boscosa. Este valor se eligió para tener en cuenta la situación de tenencia de la tierra y la fragmentación de la propiedad por parte de las comunidades indígenas en la mayor parte del territorio nacional.

Este método presenta cierta dificultad si se seleccionan parámetros

intermedios, ya que en este caso se requeriría de datos precisos de campo, sobre las características de las actividades a desarrollar bajo proyectos MDL. En este caso, se puede usar el modelo presentado aunque la complejidad de la selección aumenta. Si bien existen otras formas de establecer la definición de bosque en un país (Najarro et ál. 2005, Neef et ál. 2006), como la reunión de expertos sin necesidad de organizar un taller participativo, el método analizado es de gran ayuda para la toma de decisiones. En todo caso, la selección del método es potestad exclusiva de cada país. 🌱

## Cuadro 2.

Resultados de la selección de parámetros de la definición de bosque favorable para cada actividad de proyecto en función de su prioridad, por grupo de trabajo. Los parámetros seleccionados para la definición de bosque maximizan el área potencial para proyectos MDL

Actividad	Inicio proyecto (año 1990)	Proyecto	Promedio prioridad	Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3			Grupo 4		
				Copa	Altura	Área	Copa	Altura	Área	Copa	Altura	Área	Copa	Altura	Área
Reforestación	Zonas degradadas	Plantación forestal *	12,25	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5
Reforestación	Matorrales (guamiles)	Plantación forestal *	10,75	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5
Reforestación	Pasturas	Plantación forestal *	9,5	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5
Agroforestería	Cultivos anuales	Agroforestería	9,5	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5
Frutales	Matorrales	Frutales	9,25	30	3	0,5	30	5	0,5	30	2,5	0,5	30	3	0,5
Frutales	Cultivos anuales	Frutales	8,75	20	3	0,5	30	5	0,5	30	2,5	0,5	30	3	0,5
Reforestación	Café con sombra	Plantación forestal*	8	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5			
Regeneración asistida	Zonas degradadas	Bosque	8	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5
Sistemas silvopastoriles	Pasturas	SSP	8	30	4	0,5	30	5	0,5	20	5	0,5	20	5	0,5
Bambú	Zonas degradadas	Bambú	7,5	30	4	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5
Reforestación	Cultivos anuales	Plantación forestal*	7,25	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5	30	5	0,5
Café con sombra	Café con sombra	Café con bosque	1,25	20	5	0,5	30	5	0,5						

\*Latifoliadas, coníferas, palma africana, macadamia, piñón y hule.

	Actividades más favorecidas con la definición de bosque seleccionada
	Actividad en donde el efecto de la definición de bosque seleccionada es incierto (con la información disponible en el taller)
	Actividad con menos potencial de ser un cambio de uso de la tierra elegible para un proyecto MDL

## Agradecimientos

A Fundación Solar por el apoyo ofrecido para desarrollar el taller de definición de bosque en Guatemala. A la Autoridad Nacional Designada (AND) de Guatemala. A los representantes del “Grupo técnico para definir la propuesta del concepto bosque para Guatemala ante el MDL”, que participaron en el desarrollo del taller.

## Literatura consultada

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good practice guidance for land use, land/ use change and forestry. Hayama, Japan, IGES.
- Linstone, H; Turoff, M. 2002. The Delphi Method Techniques and Applications (en línea). Disponible en <http://www.is.njit.edu/pubs/delphibook/>. 618 p.
- Najarro, T; Neef, T; Castro, M. 2005. Definición de bosque en Honduras para la formulación de proyectos forestales bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Tegucigalpa, HN, Oficina Nacional Designada.
- Neef, T; Von Luepke, H; Schoene, D. 2006. Choosing a forest definition for the Clean Development Mechanism. Rome, IT, FAO. (Forest and climate change working paper no. 4).
- UNFCCC (United Nations Framework Climate Change Convention). 2002. Report of the Conference of the Parties [Seventh Session, Marrakech, from 29 October to 10 November 2001]. Addendum Part Two. Bonn, GE, United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat.

# Evaluación de un proyecto de desarrollo rural sostenible mediante indicadores de logros. Aldea Ecológica San José de Limones, Estado Mérida, Venezuela

Yolanda Molina<sup>1</sup>, Edgar Hernández<sup>2</sup>

El concepto de monitoreo y evaluación de logros, incorporado desde la fase inicial de planificación, ha permitido identificar bondades, limitaciones, problemas y sus causas y, por ende, ha permitido orientar la búsqueda permanente de soluciones del proyecto Aldea Ecológica San José de Limones. El proyecto ha servido para que otras organizaciones interesadas en el desarrollo rural sostenible y en la conservación de los recursos naturales consideren los resultados de la presente evaluación y perfeccionen sus estrategias.



Foto: Edgar Hernández.

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. ymolina@ula.ve

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. ehernandezb@cantv.net

## Resumen

El proyecto Aldea Ecológica San José de Limones se inició en 1995 en un pequeño asentamiento agrícola localizado en los Andes venezolanos. La propuesta buscaba conseguir un hábitat autogestionario para mejorar las condiciones de vida, impulsar la agricultura orgánica rentable y controlar la eliminación del bosque protector. Las acciones se encuadraron en programas relacionados con la organización, producción agrícola orgánica, vivienda, infraestructura, servicios y biodiversidad, junto con un sistema de monitoreo y evaluación de logros. Su ejecución en el primer año fue por cogestión; luego, la comunidad lo desarrolló en forma autogestionaria. En la presente investigación se midieron indicadores durante el periodo 1995-2005 para evaluar el nivel de logro, a través de la observación y toma de datos de campo, entrevistas semiestructuradas y cartografía. Los resultados indican que se lograron objetivos de mejoramiento del hábitat y mitigación de la deforestación. La organización y participación han sido componentes claves; sin embargo, no se ha tenido éxito en impulsar una agricultura orgánica rentable debido a la aparición en el año 2000 de la bacteria *Erwinia carotovora* en el cambur (*Triploides acuminata* y *Triploides subgrupo cavendish*) y la broca (*Hypotenemus hampei*) en el café. También influyó la falta de continuidad en el programa de asistencia agronómica y crediticia, lo que impidió la adopción del sistema propuesto de manejo orgánico. Otro factor externo inesperado fue el aumento de la inseguridad ciudadana en el área del proyecto, lo que complicó adicionalmente su desarrollo. En esta evaluación se identificó que el cacao (*Theobroma cacao*) está siendo introducido con resultados prometedores. La evaluación de los indicadores demuestra que el proyecto ha sido de utilidad para la docencia y extensión universitaria, pero que no se ha podido consolidar como opción de desarrollo comunal.

**Palabras claves:** Desarrollo rural; sostenibilidad; agricultura orgánica; autogestión; participación comunitaria; proyectos de desarrollo; indicadores de desarrollo; Aldea Ecológica San José de Limones; Andes; Venezuela.

## Summary

**Evaluation of a sustainable rural development project by indicators of achievement. Ecological Village San Jose of Limones, Andes, Venezuela.** The project of the Ecological Village San Jose of Limones is being developed from 1995 in a small agricultural community located in the Venezuelan Andes, southwest of the country. The proposal was oriented to improve the livelihood conditions, to stimulate the organic agriculture and to slow down deforestation. The actions were framed within programs related to people organization, agricultural organic production, housing, infrastructure, services and biodiversity, together with a system of monitoring and evaluation of achievements. The first year was executed by joint efforts between the community and the government. Then, the community took the responsibility by itself. Indicators were measured during the period 1995-2005 to evaluate the level of achievement. Field evaluations, interviews and cartography were so used. Habitat improvement and deforestation control were the best placed indicators; community organization and active participation, though key components, did not get high levels. The project has not been successful in developing the organic agriculture due to the appearance, in the year 2000, of bacteria *Erwinia carotovora* in bananas (*Triploides acuminata* and *Triploides subgroup cavendish*) and *Hypotenemus hampei* in coffee.

Also, lack of continuity in agronomic and financial assistance prevented the adoption of the proposed organic agriculture system. Another external unexpected factor was public insecurity. A positive finding was the introduction of cacao (*Theobroma cacao*) with promising results. The evaluation of indicators demonstrates that the project has been useful for teaching and extension, but it has not consolidated as a communal development tool.

**Keywords:** Rural development; sustainability; organic agriculture; community participation; development projects; development indicators; Ecological Village San Jose of Limones; Andes; Venezuela.



## Introducción

El objetivo de la investigación es evaluar mediante el uso de indicadores de logros, la experiencia entre 1995 y el 2005 del proyecto de desarrollo rural sostenible “Aldea Ecológica San José de Limones” localizado en los Andes venezolanos al occidente del país. La aldea se ubica en las coordenadas UTM N 969.000 - 970.000 y E 233.000 - 234.000 en el pie de monte entre 500 y 800 msnm de la vertiente andina que mira hacia el Lago de Maracaibo (Fig. 1). Esta es una zona de alta montaña con fuertes limitaciones naturales y una población con características culturales y económicas heterogéneas. La propuesta buscaba conseguir un hábitat autogestionario para mejorar las condiciones de vida, impulsar la agricultura orgánica rentable y controlar la eliminación del bosque protector. La propuesta se elaboró mediante planificación participativa, guiada por un equipo de la Universidad de los Andes, a solicitud de la Gobernación del Estado Mérida, en la búsqueda de un modelo de gestión para mitigar la deforestación en zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Sierra de la Culata. Se trataba de aumentar la productividad agrícola, los ingresos, el bienestar y el grado de conciencia conservacionista, como una estrategia complementaria a la protección jurídica de declaratorias de parques nacionales y otras figuras de régimen especial, que no lograban detener por sí solas la deforestación. El objetivo del proyecto era:

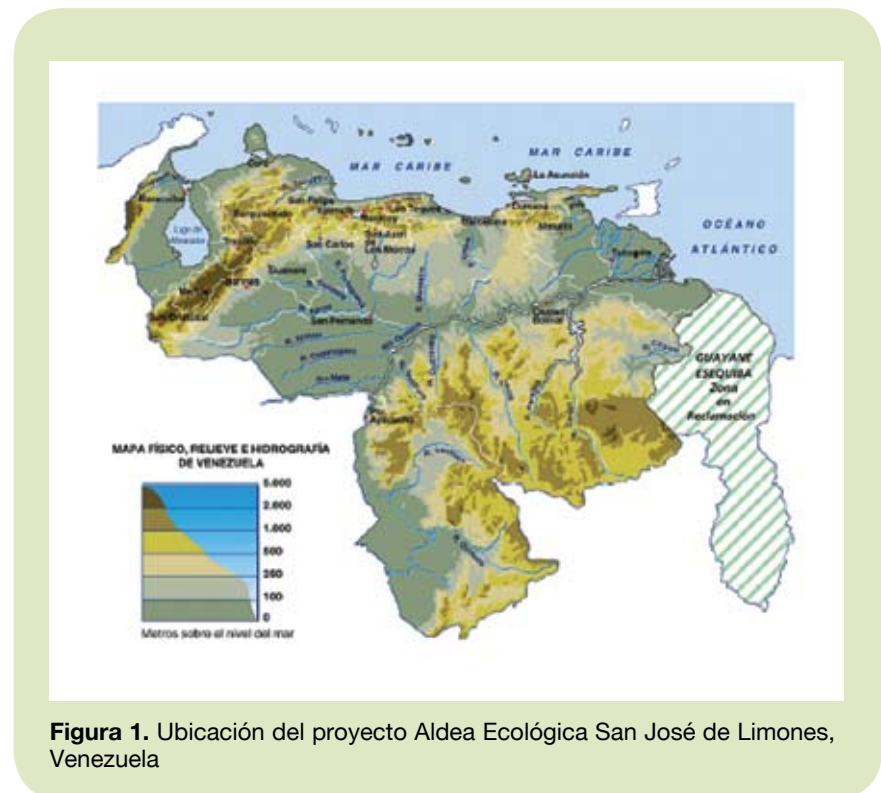
*Desarrollar un hábitat rural sostenible, autogestionario y rentable, que resolviera los problemas detectados por la comunidad, incrementara la calidad de vida, favoreciera el aprovechamiento agrícola integral y disminuyera la deforestación, considerando las premisas siguientes: un desarrollo económico, social y cultural que mejorara las condiciones*

*devida, que respetara permanentemente el medio ambiente natural y los valores del hombre y su familia. Una actividad económica diversificada, basada en el desarrollo agropecuario orgánico, más endógeno y rentable y en el aprovechamiento de los recursos humanos, paisajísticos y naturales del área. El centro de ese desarrollo sería la familia rural como protagonista de la solución de sus problemas y beneficiaria del fruto de su trabajo. Arquitectura autóctona, respetando el bioclima y la cultura y aprovechando las alternativas competitivas locales. Organización, participación y educación, unida al apoyo decisivo de las instituciones públicas y privadas para alcanzar el desarrollo propuesto (UFORGA-ULA 1998).*

La Aldea San José de Limones en 1995 era una comunidad agrícola de 12 familias que obtenía su ingreso principalmente de la producción de cambur cuyaco (*Triploide acuminata*), concha verde (*Triploide subgrupo cavendish*) y café (*Coffea arabiga*), en una superficie de uso

agrícola de 85 ha. La temperatura media anual es 21°C y la precipitación 1700 mm/año. La mayor parte del área es zona de amortiguación del Parque Nacional Sierra de La Culata.

A finales del año 1995, mediante un diagnóstico participativo se identificaron los problemas principales en la comunidad; además, el equipo planificador detectó otros problemas no planteados por la gente, pero que se consideraron importantes para comprender adecuadamente la situación del área. De las 12 familias de la comunidad, sólo dos poseían títulos de propiedad. Existía predominio del sexo masculino (70,8%) y la edad promedio era 20 años. Los jóvenes tendían a emigrar. La mayoría de los productores y sus cónyuges eran alfabetos. Había un 20% de deserción escolar. Ocho familias (62%) vivían en ranchos en muy mal estado, sin baño (disposición de excretas al aire libre en áreas cercanas a las viviendas). No tenían acueducto. El 77% de las



**Figura 1.** Ubicación del proyecto Aldea Ecológica San José de Limones, Venezuela

familias usaban leña para cocinar. No poseían luz eléctrica. La escuela y dispensario estaban muy alejados. Los problemas plantados fueron los siguientes (UFORGA-ULA 1998):

Por la comunidad	Por el equipo planificador
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comercialización deficiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de organización social, capacitación y liderazgo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de créditos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de instalaciones de acopio</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Carencia de asistencia técnica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Productividad decreciente del cambur</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta presencia de plagas en el cambur y café</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rendimientos bajos del café</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vialidad en mal estado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Subutilización del potencial ecoturístico</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de títulos de propiedad de los terrenos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pocas prácticas de conservación de suelos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausencia de capacitación de amas de casa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Viviendas en malas condiciones</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de electricidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tala del bosque protector</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema inadecuado de distribución del agua</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta deserción escolar</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dispensarios muy alejados</li> </ul>	

Los sistemas de producción se caracterizaban por el predominio de la pequeña producción campesina, con un modo de explotación agrícola de tipo familiar. El tamaño de las parcelas variaba entre 2 y 14 hectáreas. Entre los rubros de mayor importancia destacaban el cambur como monocultivo (50% de las parcelas), la asociación café - cambur (29% de las fincas), la asociación cítricos - café y café solo (7% cada uno). Los cultivos presentaban graves problemas de enfermedades y un manejo inadecuado de la fertilidad del suelo. Los campesinos no contaban con ningún tipo de financiamiento. La comercialización del cambur se realizaba a través de intermediarios. En general, existían problemas

económicos y agronómicos y falta de servicios esenciales y de organización; estos problemas eran muy diferentes al planteado como premisa del proyecto (la deforestación). El proyecto fue revisado y aprobado por la comunidad y entes públicos; además, se legalizó la “Asociación Civil Aldea Ecológica San José de Limones - ACAEL”, organización comunitaria encargada de la ejecución.

Con el apoyo del proyecto se diseñaron nueve programas específicos:

1. Promoción, integración, organización y educación-capacitación para la producción sostenible, la comercialización, la cogestión y la autogestión
2. Sistema de producción agricultura orgánica con prácticas de conservación de suelos
3. Mejoramiento de viviendas adecuadas al entorno y con servicios básicos
4. Mejoramiento vial
5. Mejoramiento de la salud
6. Desarrollo del centro comunal
7. Protección del bosque y la fauna, especialmente en la microcuenca El Paujil
8. Instalación de senderos para ecoturismo
9. Monitoreo y evaluación de logros

La ejecución se dio en tres etapas: la primera entre enero y septiembre de 1996, en la cual se trabajó con financiamiento del Estado bajo el asesoramiento de la Universidad de los Andes. Esta etapa concluyó por dificultades de financiamiento. Se usó la extensión como estrategia de capacitación y organización de la comunidad para que los agricultores pudieran acceder a los recursos financieros necesarios para la autoconstrucción de viviendas, la búsqueda de soluciones a sus problemas prioritarios y la adopción de tecnologías mejoradas en agricultura orgánica y conservación de suelos. Se ejecutaron en grado variable ocho de los programas, excepto el relativo a senderos para ecoturismo.

La segunda etapa transcurrió entre octubre 1996 y diciembre 2000. La comunidad altamente motivada asumió el desarrollo del proyecto bajo la coordinación de ACAEL. La tercera etapa ocurrió entre enero del 2001 y diciembre 2005, en cogestión con la Alcaldía del municipio y el apoyo de la Compañía Nacional de Reforestación (CONARE). En esta etapa se consolidó el establecimiento de la escuela, la protección de la microcuenca El Paujil y se formularon solicitudes de financiamiento para continuar la ejecución de los programas previstos.

### Marco metodológico

La evaluación se realizó mediante la medición de indicadores relevantes, la comparación con la línea base para determinar logros y fallas y la estimación de causas de éxito y fracaso. Se revisaron las metodologías expuestas en los trabajos de Davis-Casey (1989), IADB (1997), Rivera y Herrera (1998) y Hernández (1995). Se aplicó esta última presentada en la guía N° 24 de la FAO. Se midieron “indicadores verificables objetivamente” que permitieran la comparación de los valores iniciales medidos en 1995 con los medidos en dos momentos del desarrollo del proyecto (años 2000 y 2005). Además, se compararon los valores medidos con lo previsto para el año 2005 al inicio del proyecto. Se realizaron observaciones directas de campo y toma de fotografías terrestres en cada finca para caracterizar los usos actuales de la tierra y la situación de las viviendas. Se analizaron y compararon planos de uso de la tierra. Se aplicaron entrevistas semiestructuradas al presidente y expresidente de la Organización, a agricultores y sus familias. Se identificaron cambios ocurridos y posibles causas. Para analizar el comportamiento del desarrollo del proyecto se dividió la evaluación en tres periodos: a) 1995-2000, (inicial) b) 2000-2005 (intermedio) y c) 1995-2005 (periodo

completo). La interpretación de los cambios en los valores de los indicadores ayuda a identificar causas de éxitos y fracasos.

### Análisis de resultados

Los valores medidos de los indicadores en los años 1995 (línea base) y luego en el 2000 y 2005 se presentan en el Cuadro 1. Se agrega una columna con los valores deseables para diez años más tarde. La comparación de estas cifras permite cuantificar los cambios ocurridos y los cambios deseables. Para facilitar la interpretación de los resultados se utilizó el método propuesto por Herweg y Steiner (2002) quienes sugieren convertir las unidades abso-

lutas de los indicadores en unidades relativas para así comparar el comportamiento global de todo el proyecto. En esta evaluación, el valor absoluto deseado del indicador se dividió proporcionalmente en tres rangos: bajo, regular, alto, tal como se expresa en el Cuadro 2.

Estos rangos permitieron transformar los valores medidos de cada indicador en los diferentes momentos de la evaluación (Cuadro 1) en valores relativos, utilizando una escala de 0,1 a 6,0 (nivel bajo; 0,1-2,0; nivel regular: 2,1-4,0; nivel alto: 4,1-6,0) (Cuadro 3). La conversión se realizó con la finalidad de expresar gráficamente los resultados para comparar de manera integral todos los indicadores.

### Periodo 1995 - 2000

Al iniciar el proyecto en 1995, 13 de los 16 indicadores presentaban un valor relativo inferior a 2; sólo la producción de cambur era buena (41.000 kg/ha/mes) y regular el rendimiento de café (8 qq/ha/año), y la deforestación (1,1%/año) (Fig. 2). No se usaban prácticas de conservación de suelos; había ataques de plagas en el cambur; la relación de precio de venta en el mercado y en finca era muy desfavorable para los productores, con un sistema de comercialización caracterizado por intermediarios (UFORGA-ULA 1998). Al final del año 2000, diez de los indicadores (62,5%) mostraban cambios favorables: había mejorado significativamente el número de casas con electricidad, casas conectadas a la red del acueducto y la participación de personas en la organización, con valores relativos de 27,0, 18,0 y 14,4 respectivamente (Fig. 2 y Cuadro 3).

Los resultados fueron más altos que lo previsto, ya que se incorporaron comunidades vecinas; esto es un indicador del efecto de irradiación de las bondades del proyecto. Igualmente, el rendimiento del café mejoró sustancialmente de 8 a 17 qq/ha/año, debido a que hubo incorporación de nuevas plantaciones y mejoramiento de la fertilidad. En este periodo se logró producir y comercializar café orgánico. En menor magnitud, también hubo mejoras en las viviendas y carreteras, adopción de prácticas de conservación, control de plagas, créditos, plantación de árboles en fincas y disminución de la tasa de deforestación. La organización de la población, medida a través del número de miembros activos en ACAEL, fue clave para darle piso legal a la acción de la comunidad y solucionar gran parte de los problemas planteados en el diagnóstico.

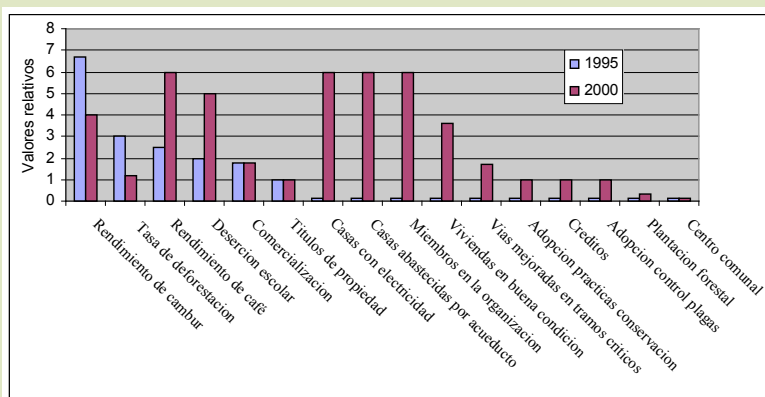
En el desarrollo del centro comunal no hubo mejoras debido a las dificultades para obtener el financiamiento que implicaba su construcción.

**Cuadro 1.**  
Valores medidos y deseables de los indicadores en la Aldea Ecológica San José de Limones

Indicador	Unidad	Medido			Deseable
		1995	2000	2005	2005
Miembros activos de ACAEL	Nº	0	36	12	12
Área de centro comunal	m <sup>2</sup>	0	0	100	3000
Rendimiento del cambur	kg/ha/mes	40.000	35.000	400	54.000
Rendimiento del café	qq/ha/año	8	17	18	20
Adopción de prácticas de conservación de suelos	% fincas	0	17	42	100
Agricultores con crédito	%	0	2	2	12
Adopción de prácticas de control de plagas	% fincas	0	17	42	100
Relación entre precios de venta en finca y en el mercado	Adimensional	0,3	0,3	0,3	1,0
Vías mejoradas en tramos críticos	km	0	0,6	1,4	2
Títulos de propiedad	Nº	2	2	2	12
Viviendas en buen estado	Nº	0	7	7	12
Casas con electricidad	Nº	0	36	36	12
Casas abastecidas por acueducto	Nº	0	24	24	12
Deserción escolar	%	20	50	0	0
Plantación árboles en fincas	Nº	0	150	870	3.600
Deforestación microcuenca Los Paujiles	%/año	1,1	0	0	0

**Cuadro 2.**  
Rangos de conversión de los indicadores a términos relativos.  
Aldea Ecológica San José de Limones

Indicador	Unidad	Valor año 10	Rango y valor numérico		
			Bajo (0,1-2,0)	Regular (2,1-4,0)	Alto (4,1-6,0)
Miembros activos de ACAEL	Nº	12	≤4	5-8	≥9
Centro comunal	m <sup>2</sup>	3000	≥1000	1001-2000	≥2001
Rendimiento del cambur	kg/ha/mes	54.000	≥18.000	18.001-36.000	≥36.001
Rendimiento del café	qq/ha/año	20	≥6,6	6,7-13,3	≥13,4
Adopción de prácticas de conservación de suelos	Fincas (%)	100	≥33	34-66	≥67
Créditos otorgados	Agricultores (%)	100	≥33	34-66	≥67
Adopción de prácticas de control integral de plagas	Fincas (%)	100	≥33	34-66	≥67
Relación entre precio de venta en la finca y en el mercado	Adimensional	1	≥0,33	0,34-0,66	≥0,66
Vías mejoradas en tramos críticos	km	2	≥0,7	0,8-1,4	≥1,5
Títulos de propiedad	Nº	12	≥4	5-8	≥9
Viviendas en buen estado	Nº	12	≥4	5-8	≥9
Casas con electricidad	Nº	12	≥4	5-8	≥9
Casas abastecidas a acueducto	Nº	12	≥4	5-8	≥9
Deserción escolar	Deserción (%)	0	≥1	1-19	≥20
Plantación árboles en fincas	Nº	3.600	≥1.200	1.201-2.400	≥2.401
Deforestación	%/año	0	≥1,6	0,6-1,5	≥0,5



**Figura 2.** Cambios en los indicadores entre 1995 y el 2000 en la Aldea Ecológica San José de Limones, Mérida, Venezuela

Tampoco se observaron cambios en el número de títulos de propiedad ni en el proceso de comercialización. Estos indicadores revelaron valores bajos en el diagnóstico participativo realizado en 1995. Hubo un incremento en la deserción escolar y se produjo un descenso en el rendimiento del cambur, de 41.000 a 35.000 kg/ha/mes, lo que disminuyó el ingreso de las familias. Este hecho se asoció a la falta de asistencia agronómica para el control de plagas y fertilidad del suelo. Las deficiencias nutricionales, que ya se evidenciaban en 1995, facilitaron el ataque de la bacteria *Erwinia caratovora* a las musáceas y de la broca (*Hypotenemus hampei*) al café. La propuesta de agricultura orgánica resultó compleja, pues exigía una co-gestión permanente en la aplicación de todas las acciones previstas de educación, capacitación y asistencia agronómica por parte de las instituciones. En conclusión, la situación inicial había mejorado en aspectos importantes pero no se había alcanzado el desarrollo rural sostenible, que se logra cuando todos los valores relativos de los indicadores alcanzan al menos el valor 6.

### Periodo 2000 - 2005

En este periodo hubo mejoras sólo en 5 de los 16 indicadores (Fig. 3). El impacto más significativo fue la eliminación de la deserción escolar, lo que se logró por la construcción y puesta en funcionamiento de una escuela rural ubicada en la comunidad. La escuela formaba parte del diseño del centro comunal y se construyó a orillas de la vía, en un sitio más accesible que el propuesto originalmente. Pudiera ser el núcleo de un nuevo concepto de centro comunal que permitiría la realización de actividades de interés para los agricultores.

También hubo avances de menor cuantía en el mejoramiento de vías en tramos críticos, adopción de prácticas de conservación de suelos, control de plagas y plantación de

árboles en fincas -esto último con el apoyo de la Compañía Nacional de Reforestación (CONARE). Dos indicadores decayeron: el rendimiento del cambur, principal rubro de producción de la Aldea, y la motivación y participación de los pobladores en ACAEL debido a que surgió en forma dramática la inseguridad pública en el área, lo que conllevó a la emigración de algunos habitantes.

Al final del periodo de evaluación, cuatro indicadores importantes para el desarrollo rural sostenible aún no manifestaban cambios favorables: la comercialización, títulos de propiedad, créditos y centro comunal. Estos aún se mantienen en el nivel mínimo diagnosticado en 1995. Además, el mejoramiento de viviendas no ha alcanzado el valor máximo deseado. Se identificó que la mayoría de las fincas han introducido con éxito la siembra de cacao (*Theobroma cacao*), el cual promete ser una alternativa económicamente rentable y con beneficios ecológicos para la Aldea Ecológica. Se observaron indicios de recuperación de la confianza y esperanza en el proyecto, siguiendo los lineamientos propuestos originalmente con adaptaciones a la nueva realidad del país. Otro logro complementario destacable ha sido la ampliación del acueducto de la Aldea Ecológica para surtir a caseríos vecinos donde viven más de 15 familias. Se informó que ya se tiene formulado y aprobado el proyecto para mejoramiento total de la vía y la tramitación del financiamiento para la compra de un camión, lo que facilitará la comercialización.

### Periodo completo 1995 - 2005

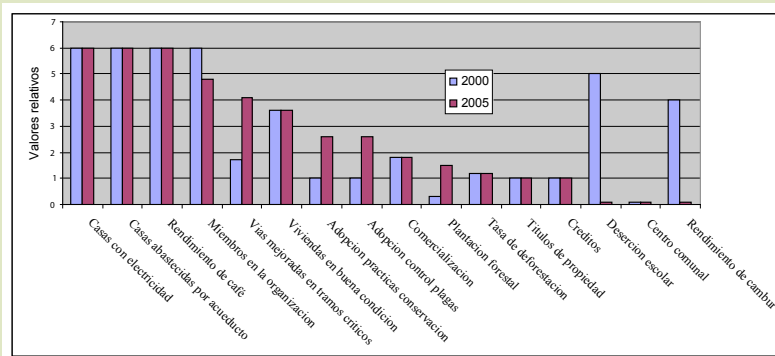
Cuando se analiza el periodo completo de diez años se evidencia que doce de los 16 indicadores mejoraron en grado variable (Fig. 4). El cambio fue de mayor magnitud en cinco indicadores: viviendas con electricidad, abastecimiento de agua,

**Cuadro 3.**

Valor de los indicadores en una escala relativa de 0,1 a 6,0

Indicador	Años		
	1995	2000	2005
Miembros activos (Nº)	0,1	14,4 *	4,8
Casas con electricidad	0,1	27,0 *	27,0
Casas abastecidas por acueducto	0,1	18,0 *	18,0
Tasa de deforestación (%/año)	3,0	1,2	1,2
Vías mejoradas en tramos críticos (km)	0,1	1,7	4,1
Viviendas en buena condición	0,1	3,6	3,6
Centro comunal	0,1	0,1	0,1
Adopción prácticas conservación	0,1	1,0	2,6
Créditos	0,1	1,0	1,0
Adopción control plagas	0,1	1,0	2,6
Comercialización	1,8	1,8	1,8
Títulos de propiedad	1,0	1,0	1,0
Deserción escolar	2,0	5,0	0,1
Plantación forestal	0,1	0,3	1,5
Rendimiento del cambur	6,7	4,0	0,1
Rendimiento del café	2,5	7,6*	8,0

\* Valor relativo real del indicador. Para graficar se utilizó el valor relativo máximo (6,0) del valor deseado del indicador.

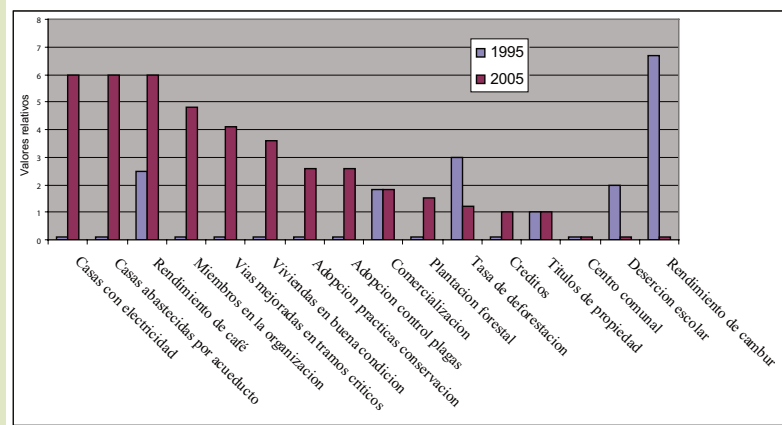


**Figura 3.** Cambios de los indicadores entre el 2000 y 2005. Aldea Ecológica San José de Limones. Mérida, Venezuela

asistencia a la escuela, rendimiento del café y organización comunal. En menor magnitud, el cambio fue positivo en mejoramiento de la vivienda y de vías. Hubo mejoras de menor cuantía, pero no satisfactorias, en los indicadores relativos a adopción de prácticas de conservación y control de plagas. El café mantuvo su rendimiento calificado como medio.

Desafortunadamente la productividad del cambur decayó fuerte-

mente debido al efecto de las plagas y a la poca asistencia agronómica. El descenso en la productividad del producto principal, y por lo tanto de los ingresos en la comunidad, creó una crisis económica y social. Tampoco se lograron avances en la construcción del centro comunal, en el otorgamiento de créditos, mejora en la comercialización, fomento del agroturismo, ni en el otorgamiento de títulos de propiedad.



**Figura 4.** Cambio en los indicadores entre 1995 y 2005. Aldea Ecológica San José de Limones. Mérida, Venezuela

## Conclusiones y recomendaciones

- La Aldea Ecológica San José de Limones ha sido una experiencia puntual y experimental, provechosa para las actividades docentes de extensión e investigación de la Universidad de los Andes, para la comunidad y para organismos asociados a la cogestión.
- El concepto de monitoreo y evaluación de logros, incorporado desde la fase inicial de planificación, ha permitido identificar bondades, limitaciones, problemas y sus causas y, por ende, ha permitido orientar la búsqueda permanente de soluciones. El proyecto ha servido para que otras organizaciones interesadas en el desarrollo rural sostenible y en la conservación de los recursos naturales consideren los resultados de la presente evaluación y perfeccionen sus estrategias.
- En diez años de actividades, el proyecto Aldea Ecológica San José de Limones ha alcanzado sus objetivos en forma parcial. En su primera etapa (1995-2000), logró mejorar en 10 de los 16 indicadores, pero en la segunda fase (2000-2005) no logró alcanzar la meta prevista del desarrollo rural sostenible. Los indicadores

muestran mejoramiento en las condiciones del hábitat, en la disminución de la deforestación y la deserción escolar. En este sentido, jugaron un papel clave los talleres de planificación participativa, el establecimiento formal de una organización motivada que buscó la solución a sus problemas y la capacitación de los agricultores.

- Hubo limitaciones que impidieron la consecución de una agricultura orgánica rentable y diversificada. El apoyo político y de financiamiento en el periodo de cogestión inicial fue de solo un año, periodo muy corto que no permitió la asistencia técnica adecuada en el manejo de la fertilidad del suelo y el control de plagas y enfermedades y gene-

ró la caída de los rendimientos en los principales rubros. Por otra parte, no se resolvió el problema de tenencia de la tierra, por lo que no se pudo acceder a créditos. La existencia de fincas muy pequeñas dificultó el establecimiento de unidades de producción rentables y capaces de sustentar a la familia. Además, no se tuvo éxito en reordenar el mecanismo de comercialización. La situación descrita motivó la introducción del cacao con resultados prometedores.

- La inseguridad pública fue un elemento crítico en el último periodo, el cual puso en riesgo la sostenibilidad del proyecto.
- La continuidad en el apoyo técnico y financiero es clave para el éxito. Los proyectos de este tipo, aunque pequeños, necesitan ser ejecutados con una filosofía holística y permanente, con el apoyo efectivo del Estado en la cogestión por un periodo de tiempo suficiente.
- Se recomienda formular con la participación de los pobladores la línea base de indicadores claves para medir el grado de consecución de los logros.
- La agricultura orgánica es una propuesta de producción compleja que requiere cogestión y autogestión en la aplicación de todas las acciones previstas. La continuidad en el apoyo técnico y financiero de este tipo de proyecto es fundamental para el éxito. 🌱

## Literatura citada

- Davis-Casey, D'A. 1989. Community Forestry. Participatory assessment, monitoring and evaluation. Rome, IT, FAO. (Community Note no. 2).
- Hernández, E. 1995. Monitoring and evaluation of watershed management project achievements. Rome, IT, FAO. (Conservation Guide no. 24).
- Herweg, K; Steiner, K. 2002. Impact monitoring and assessment. Volume 1: Procedure; Volume 2: Toolbox. Wabern, CH, Buri Druck AG. 3084.
- IADB (Interamerican Bank of Development). 1997. Planning for monitoring and evaluation (en línea). Disponible en <http://www.iadb.org/cont/evo/EngBook/anexii.htm>.
- Rivera, R; Herrera, H. 1998. Manual de seguimiento y evaluación de proyectos de desarrollo rural. Caracas, VE, Fundación CIARA / Ministerio de Agricultura y Cría.
- UFORGA-ULA (Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos, Agropecuarios y Ambientales. Universidad de Los Andes). 1998. Aldea Ecológica San José de Limones (Municipio Andrés Bello, Estado Mérida). Mérida, VE, Universidad de los Andes y Gobernación del Estado Mérida.