

Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

N° 58 Diciembre 2009



Departamento Administrativo de
Ciencia, Tecnología e Innovación
Colciencias
República de Colombia



Universidad
Tecnológica
de Pereira

CIEBREG

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS EN BIODIVERSIDAD Y
RECURSOS GENÉTICOS



Gobernanza Forestal
Proyecto Bosques FLEGT, Colombia



UNIÓN EUROPEA



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

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

Comité Editorial Internacional

José Joaquín Campos
CATIE

Ronnie de Camino
CATIE

Glenn Galloway
CATIE

Anita Varsa
Course Coordinator National Board
of Education, Finland

Manuel Guariguata
Scientist, Environmental Services and
Sustainable Use of Forests Programme,
CIFOR, Indonesia

David Kaimowitz
Program Officer Environment and
Development, USA/Mexico

Florencia Montagnini
Universidad de Yale, USA

Gerardo Budowski
Universidad para la Paz, Costa Rica

Kenton Miller
World Resources Institute, USA

Comité Editorial Operativo CATIE

Róger Villalobos
Lorena Orozco
Dietmar Stolan
Francisco Jiménez
Fernando Carrera

Comité Técnico

John Mario Rodríguez Pineda
Jaime Niño Osorio
Carmen Lucía Miranda Ortiz

Equipo de Producción

Róger Villalobos, Director
Lorena Orozco, Editora
Mariela Aguilar, Secretaria
Elizabeth Mora, Corrección de estilo
Eyleen Angulo C., Revisión bibliográfica
Rocío Jiménez, Diseño y diagramación
Guiselle Brenes, Internet

Esta revista está indizada en la
base de datos CABI

Impreso en papel reciclable 

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

Recursos Naturales y Ambiente

ISSN 1659-1216

N° 58 Diciembre 2009

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) 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 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, Venezuela y España.

Dr. José Joaquín Campos
Director General

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

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

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



Costos de suscripción

Centroamérica:

1 año US\$30, dos años US\$50.

América Latina y el Caribe:

1 año US\$40, dos años US\$65.

Resto del mundo:

1 año US\$50, dos años US\$85.

Sede Central CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica
Tel. (506) 2558 2312 Fax (506) 2558 2051 Dirección electrónica: rforestal@catie.ac.cr

www.catie.ac.cr



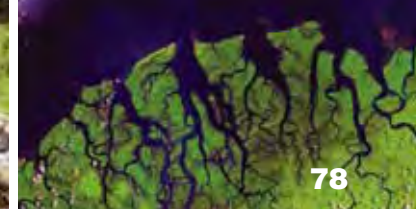
5



9



73



78

Editorial	4
-----------------	---

FORO

El manejo de los bosques en cuatro departamentos de Colombia. Una visión desde el mecanismo FLEGT-UE

<i>Rubén Darío Moreno Orjuela</i>	5
---	---

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Influencia de sistemas silvopastoriles en la diversidad de aves en la cuenca del río La Vieja, Colombia <i>David Fajardo; Richard Johnston-González; Luis Neira; Julián Chará; Enrique Murgueitio</i>	9
Identificación y valoración de los servicios ecológicos prestados por los suelos bajo distintas coberturas en la cuenca del río La Vieja, Colombia <i>Miguel Angel Dossman; Ligia María Arias-Giraldo; Juan Carlos Camargo</i>	17
Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia <i>Jose Alexander Rodríguez; Juan Carlos Camargo García</i>	25
Estimación de biomasa aérea y desarrollo de modelos alométricos para <i>Leucaena leucocephala</i> en sistemas silvopastoriles de alta densidad en el valle del Cauca, Colombia <i>Ligia María Arias-Giraldo; Juan Carlos Camargo; Miguel Angel Dossman; Mauricio Alejandro Echeverry; Jose Alexander Rodríguez; Carlos Hernando Molina; Enrique José Molina; Iván Darío Melo</i>	32
Evaluación de la actividad insecticida in vitro de mezclas binarias de extractos vegetales contra la broca del café <i>Jaime Niño; Ana M. Lagos; Oscar M. Mosquera; Yaned M. Correa</i>	40
Evaluación de la actividad insecticida in vitro de extractos vegetales contra la broca del café <i>Oscar M. Mosquera; Lina M. Henao; Jaime Niño</i>	45
Instrumentos de política para la gestión de servicios ecosistémicos en agroecosistemas cebolleros de la cuenca del río Otún, Colombia <i>Sonia Liliana Guzmán Vargas; María Teresa Palacios Lozano</i>	51
Alianzas para la sostenibilidad y la gestión ambiental de los territorios en el Bosque Modelo Risaralda <i>John Mario Rodríguez</i>	59
Problemas de información ambiental para la toma de decisiones. El caso de Risaralda, Colombia <i>Jorge Iván Orozco Betancurth</i>	65
Sistema regional de áreas naturales protegidas en el Eje Cafetero de Colombia. Un esfuerzo colectivo para la conservación de nuestro territorio <i>Erika Nadachowski Chávarro; Martha Yazmín Valencia Valencia</i>	73
Análisis de la fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador) <i>Mauricio A. Echeverry D.; Grady J. Harper</i>	78
Uso de métodos geofísicos e isotópicos en la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual para los acuíferos de Pereira y Dosquebradas, Colombia <i>Doris Liliana Otálvaro; Gabriel Fernando Arias; María Eugenia Veléz</i>	89
Vigilancia y prospectiva tecnológica en los centros de investigación de excelencia en Colombia. El caso del Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos <i>Angélica María Pineda Botero</i>	97
Construcción de un sistema integral de información sobre la sostenibilidad ambiental de las cuencas <i>Carlos H. Fonseca Z.</i>	103

Editorial

Trabajar por el desarrollo sostenible de las comunidades rurales de Colombia ha sido una meta de muchos actores institucionales y sociales, tanto nacionales como de sus aliados internacionales. La investigación y el desarrollo se han venido consolidando a través de acciones que crean sinergias e impulsan la cooperación interdisciplinaria y transdisciplinaria. En esta ocasión, la revista Recursos Naturales y Ambiente se enfoca en los resultados más relevantes de una de estas sinergias: la generada por el Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIEBREG). El Centro es cofinanciado por el Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología de Colombia (COLCIENCIAS) y por sus socios: Universidad Tecnológica de Pereira, Pontificia Universidad Javeriana, Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Los artículos publicados ilustran, entre otros, los resultados del proyecto “Valoración de bienes y servicios de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales colombianos, Complejo Ecorregional Andes del Norte”. Este proyecto es un importante esfuerzo de trabajo conjunto entre los socios del CIEBREG y aliados locales, regionales y productores de la Ecorregión Cafetera. La mayor parte de los artículos son responsabilidad de investigadores del CIEBREG y de algunos de sus socios y aliados, como la Corporación Autónoma Regional de Risaralda, el Proyecto de Gobernanza Forestal Bosques-FLEGT, la Universidad Tecnológica de Pereira y el Fondo de Alianzas para los Ecosistemas Críticos.

La valoración de los bienes y servicios ambientales, también denominados ecosistémicos, se concentró en

dos cuencas hidrográficas de singular importancia: la cuenca del río Otún, que abastece a aproximadamente 400.000 habitantes del departamento de Risaralda, y la cuenca del río La Vieja, donde confluyen los departamentos de Risaralda, Quindío y Valle del Cauca. Esta valoración generó avances significativos tanto en conocimiento de la línea base ambiental de los departamentos del Eje Cafetero, como en la identificación y valoración integral de servicios ecosistémicos en paisajes naturales y transformados.

La información científica ofrecida por el CIEBREG y sus aliados ha sido fundamental para sustentar nuevas políticas ambientales y fortalecer la toma de decisiones. Esto es particularmente relevante en el departamento de Risaralda, donde se vienen desarrollando nuevos proyectos de mecanismos de desarrollo limpio en la cuenca del río La Vieja, programas de pago por servicios ambientales de belleza escénica y proyectos de reconversión de sistemas agrícolas en la cuenca del río Otún. Al presentar la candidatura del departamento como Bosque Modelo, un factor importante para su aprobación fue todo ese trabajo en camino. En consecuencia, Risaralda es el primer territorio que la Red Internacional de Bosques Modelo reconoce como manejado sosteniblemente.

Esperamos que este número dedicado a los esfuerzos de investigación en la Ecorregión Cafetera de Colombia provea datos, información útil y relevante para otras ecorregiones de América Latina y de los países miembros de CATIE.

*John Mario Rodríguez Pineda, M.Sc.
Profesor Titular
Universidad Tecnológica de Pereira
Director General
CIEBREG*

El manejo de los bosques en cuatro departamentos de Colombia. Una visión desde el mecanismo FLEGT-UE

Rubén Darío Moreno Orjuela¹

Para el proyecto Bosques FLEGT/Colombia es evidente la estrategia de abordar e integrar medidas hacia dentro y hacia fuera del bosque con posibilidades de desarrollo a corto, mediano y largo plazo. En el caso específico de la legalidad forestal se deberá trabajar para mejorar el sistema legal en todos los eslabones de la cadena forestal, iniciando en el manejo forestal, pasando por la comercialización y transformación y concluyendo en el comprador final, cuya incidencia facilitaría u obstaculizaría el comercio.



Foto: CARDER-FLEGT.

¹ Coordinador Técnico General Proyecto Bosques FLEGT/Colombia, Corporación Autónoma Regional de Risaralda, CARDER. rudamor@carder.gov.co
rudamor@gmail.com

Uno de los mayores desafíos que hoy enfrentan los países que poseen masas boscosas significativas en sus territorios es la promoción de los beneficios ambientales. Esto implica, por una parte, el aprovechamiento sostenible que favorezca a las familias que viven en la zona rural y que derivan su sustento de los bosques y, por la otra, la preservación como respuesta al fenómeno del cambio climático. En este contexto, la existencia de los bosques ha pasado de ser una preocupación aislada para convertirse en el eje central de las políticas públicas ambientales en el mundo.

El manejo sostenible de los bosques, el desarrollo de acciones de prevención, control y vigilancia forestal, la aplicación de la normativa forestal y la promoción de mercados justos para los productos forestales son actualmente apuestas importantes, tanto de los países productores como de los compradores. Es por ello que la Unión Europea ha propuesto el Mecanismo FLEGT (Comercialización, Gobernanza y Cumplimiento de la Normativa Forestal). En Colombia, las Corporaciones Autónomas Regionales de Quindío, Tolima, Norte de Santander y Risaralda han asumido la implementación de tal mecanismo. A través del Proyecto Bosques FLEGT/Colombia –ejecutado por CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda)– se busca lograr mejores condiciones de legalidad y gobernanza forestal que contribuyan a un manejo forestal más sostenible y al incremento de la producción y comercialización de los recursos forestales de pequeños y medianos productores en los departamentos involucrados.

Este proyecto concentra parte de sus acciones en la construcción de una normativa forestal con la participación de los productores del sector, de manera que las nuevas normas reflejen una visión plural, y no sólo la del Gobierno Nacional.

Como fruto de este enfoque, dentro del marco del Proyecto Bosques FLEGT/Colombia, se han expedido dos normas que permiten a los productores forestales realizar trámites más simples y ágiles ante las autoridades ambientales. Con ellas se espera disminuir la ilegalidad forestal, al reducirse las dificultades para obtener la autorización de aprovechamiento forestal. Además, las propias entidades que actúan como autoridad ambiental han hecho esfuerzos para prestar un servicio mejor y más oportuno.

Aparte de la formulación y aplicación de la normativa, se desarrollan acciones para apoyar a los pequeños productores en el proceso de certificación forestal voluntaria por parte del FSC (Consejo de Manejo Forestal). Bajo esta iniciativa es posible certificar áreas mínimas de bosque en manos de comunidades locales y pequeños productores, y no solo grandes extensiones en manos de grandes empresas madereras.

Otra de las líneas de acción del proyecto es fortalecer la comercialización de productos forestales obtenidos legalmente. Para ello se crearon dos oficinas de apoyo al comercio forestal (Centros de Soluciones Forestales), que funcionan presencial y virtualmente para facilitar a los productores el manejo de su información comercial y acceder a la posibilidad de realizar negocios vía internet. Después de tres años de trabajo en Colombia, el proyecto ha logrado la implementación de las acciones descritas con la participación activa de actores públicos y privados del sector forestal en discusiones y debates y su apoyo a la formulación y promoción de políticas públicas relacionadas con la legalidad forestal. Sin embargo, se evidencia ahora la necesidad de lanzar una mirada hacia dentro y hacia fuera de los bosques, pues no basta con realizar un manejo sostenible de los mismos, atendiendo la normativa forestal vigente. Además,

hay que fortalecer el mercado forestal, de manera que se retribuya al productor con precios justos y se incremente el sentido de responsabilidad en el comprador a la hora de adquirir productos elaborados con materia prima legal.

El siguiente esquema presenta algunas variables importantes que resumen ese enfoque integral hacia dentro y hacia fuera del bosque. El orden de descripción no implica ninguna prioridad de una acción sobre las otras.

Al interior de bosque son importantes aspectos como:

Investigación.– En el desarrollo del proyecto, se ha detectado la necesidad de investigaciones específicas sobre el comportamiento del bosque ante tratamientos de manejo forestal, lo cual se suma a las inquietudes expresadas por los productores en el sentido de mejorar técnicas e incorporar tecnologías de aprovechamiento forestal. Específicamente, en los bosques de guadua (*Guadua angustifolia* Kunt) se ha evidenciado la necesidad de profundizar estudios sobre el secado de los tallos, ya que en la actualidad este proceso es un poco largo.

Técnicas de cosecha.– Mediante el trabajo de acompañamiento por parte del proyecto, se identificó que las labores de tala se ejecutan de manera tradicional y sin medidas de seguridad. Se han realizado esfuerzos de capacitación en técnicas de cosecha e incorporación de medidas de seguridad industrial; así, se ha logrado reducir el tiempo laboral y ha mejorado la rentabilidad económica –en consecuencia, ha disminuido la resistencia a incorporar las nuevas técnicas.

Extracción de impacto reducido.– Debido al tamaño pequeño de los bosques bajo manejo

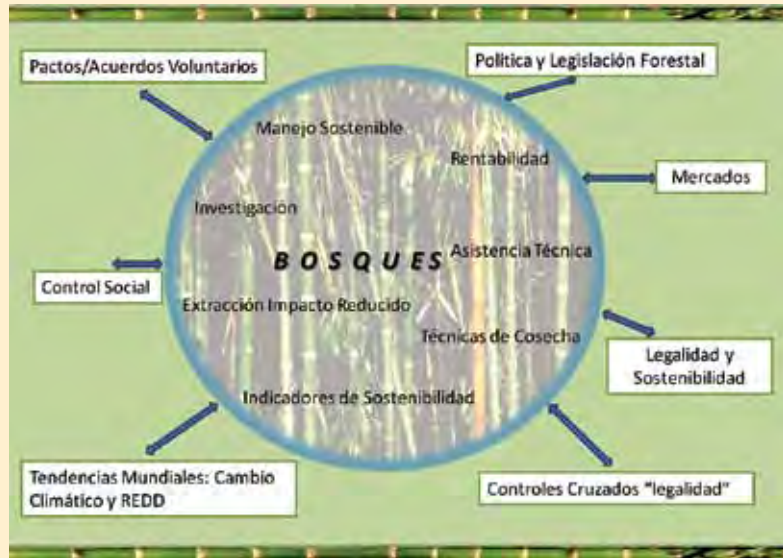


Figura 1. Variables consideradas en el enfoque integral hacia dentro y hacia fuera del bosque

forestal en los departamentos donde se ejecuta el Proyecto, el transporte menor se hace generalmente al hombro o con animales de carga en trayectos muy cortos, lo que genera un bajo impacto. Al revisarse literatura sobre extracción de impacto reducido (fundamentalmente de la Organización Internacional de Maderas Tropicales – OIMT) se evidenció que esta actividad puede calificarse positivamente, lo que significa un valor agregado de los productores forestales al contribuir, de esa forma, a la sostenibilidad de los bosques.

Indicadores de sostenibilidad.- En el proceso de auditoría forestal bajo el esquema del FSC, en los bosques de guadua se identificaron algunas acciones cuyos indicadores permiten verificar la sostenibilidad del bosque; entre ellas, las parcelas de seguimiento y los análisis multitemporales para medir el comportamiento de los guaduales una vez se han realizado las labores de manejo y cosecha

forestal. Otra actividad de alto valor técnico fue la densidad total de tallos, ya que implica una labor de seguimiento a largo plazo; simultáneamente se han iniciado acciones para determinar atributos de alto valor de conservación en bosques naturales de guadua.

Rentabilidad.- Este aspecto ha sido de gran interés para los beneficiarios del proyecto. Se ha demostrado que si el manejo forestal no es rentable, se afecta el bosque y aumenta el riesgo de ingresar en la cadena de ilegalidad forestal pues, para lograr márgenes aceptables de utilidad, será necesario cosechar más metros cúbicos que los autorizados. En una primera fase, el proyecto brindó capacitación en temas administrativos, como aspectos básicos de contabilidad, administración y cálculo de costos unitarios. De esta forma, se han iniciado procesos de optimización de las operaciones forestales.

Asistencia técnica.- Es indudable que para lograr cambios sig-

nificativos en el proceso de manejo forestal con comunidades se requiere de tiempo y asistencia técnica permanente, de manera que se garantice una efectiva orientación técnica y se generen lazos de confianza entre el productor y el operador forestal.

Manejo sostenible.- Las acciones de manejo y cosecha forestal deben permitirle al bosque (ya sea de árboles o de guadua) la posibilidad de recuperarse; es decir que mediante su dinámica natural pueda reponer el recurso extraído. El mecanismo FLEGT-UE hace un importante avance hacia la verificación de la legalidad y la promoción del manejo sostenible para elevar los niveles de productividad, al tiempo que se reducen los impactos negativos en el ecosistema.

En el ámbito exterior del bosque son importantes otros aspectos. Las circunstancias externas regulan, en buena parte, la dinámica forestal al estimular o desestimar este renglón productivo mediante políticas públicas, mercado en crecimiento y contextos mundiales favorables. A continuación se describen algunas variables que el Proyecto Bosques FLEGT/Colombia ha encontrado en su proceso de intervención:

Política y legislación forestal.- El proyecto impulsó, de manera participativa, dos normas para el manejo de bosques naturales y guaduales, las cuales rescatan los intereses de los diferentes actores en pos de reglas del juego claras en torno al manejo, aprovechamiento y transporte de productos forestales. Un aspecto de importancia fue la divulgación a los dueños de los bosques, a los aprovechadores y a los transformadores, de la normativa forestal vigente, con lo que se logró acercarlos a la legalidad.

Mercados.- Desde el inicio del proyecto se constató que –por varias razones - la competencia de la madera ilegal en el mercado pone en desventaja al productor legal. El comercio ilegal de madera provoca sobreoferta, precios bajos y mezcla de materia prima legal e ilegal; se hace necesario, entonces, identificar canales seguros de comercialización que permitan reconocer el valor del producto legal y reducir las posibilidades de ingreso del producto ilegal al mercado mediante labores de control y vigilancia en los centros de comercialización.

Controles cruzados para la ‘legalidad’.- En el proceso de ejecución del proyecto FLEGT se logró articular a las autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales) y otros actores gubernamentales (Policía, Ejército, Fiscalía...) para aunar esfuerzos en la identificación, control y vigilancia del aprovechamiento, transporte y comercio de madera. Se realizaron jornadas de capacitación sobre legislación forestal y se organizaron campañas de sensibilización. Además, se crearon los Comités Departamentales de Control y Vigilancia Forestal que tienen como función coordinar actividades interinstitucionales de control y vigilancia forestal en carreteras y sitios donde se comercializa y transforma la madera. Estas acciones han permitido que la sociedad perciba un esfuerzo armónico por parte de las entidades del Estado y la certeza de que los temas ambientales no le corresponden a un solo organismo.

Control social.- El proyecto se ha interesado en dar a conocer la normativa vigente con un

doble propósito; por una parte, informar sobre la simplificación de algunos trámites a las personas que desarrollan actividades forestales y, por otra, entregar información precisa de procedimientos y plazos, de manera que los usuarios puedan exigir a las autoridades ambientales el cumplimiento de los tiempos establecidos por ley; así se hace efectivo el control social por parte de los productores forestales.

Pactos y acuerdos voluntarios.- Con el objeto de integrar a actores del sector público y privado, el proyecto Bosques FLEGT/Colombia promovió la suscripción de un “Pacto intersectorial por la madera legal en Colombia”, suscrito por 23 actores de orden nacional, y cuatro Acuerdos Departamentales (Norte de Santander, Risaralda, Tolima y Quindío). Tanto el Pacto Nacional como los Acuerdos Departamentales tienen por objetivo asegurar que la madera extraída, transportada, transformada, comercializada y utilizada provenga exclusivamente de fuentes legales. El Pacto y los Acuerdos son voluntarios y se espera que contribuyan a la implementación de la política ambiental nacional, al desarrollo sostenible y al mejoramiento de la gobernanza forestal. En la actualidad se está trabajando en definir los indicadores de cumplimiento del Pacto y en apoyar la implementación de códigos de conducta que permitan definir la legalidad forestal como un requisito primordial en el trabajo de los actores firmantes.

Legalidad y sostenibilidad.- Un aspecto de interés en las discusiones técnicas del proyecto ha sido el análisis de los conceptos

de ‘legalidad’ y ‘sostenibilidad’; el primero hace referencia a un ejercicio de cumplimiento de la normativa forestal, en tanto que el segundo tiene un sentido más amplio, al abordar la interacción del hombre con el bosque y los efectos positivos y negativos que esta relación genera. La legalidad hace parte del proceso de sostenibilidad, por lo que no pueden verse de manera aislada.

Tendencias mundiales (Cambio Climático, REDD, FLEGT).- Las recientes reuniones de carácter mundial sobre aspectos ambientales han definido la importancia de los bosques para evitar fenómenos mundiales como el cambio climático y la deforestación. El proyecto propone incorporar iniciativas mundiales como el mecanismo FLEGT-UE y el enfoque REDD (deforestación evitada) a la gestión forestal en los niveles local, regional y nacional.

Para el proyecto Bosques FLEGT/Colombia se hizo evidente la estrategia de abordar e integrar medidas hacia dentro y hacia fuera del bosque con posibilidades de desarrollo a corto, mediano y largo plazo. En el caso específico de la legalidad forestal se deberá trabajar para mejorar el sistema legal en todos los eslabones de la cadena forestal, iniciando en el manejo forestal, pasando por la comercialización y transformación y concluyendo en el comprador final, cuya incidencia facilitaría u obstaculizaría el comercio. Esta forma de abordar la gestión forestal requiere tiempo, voluntad y compromiso, ya que la legislación forestal por sí sola no mejorará la legalidad. Entre otros aspectos, es necesario mejorar el servicio de asistencia técnica y apoyar al sector industrial para posicionarlo en los mercados justos.

Influencia de sistemas silvopastoriles en la diversidad de aves en la cuenca del río La Vieja, Colombia

David Fajardo^{1,2,3};
Richard Johnston-González³,
Luis Neira³, Julián Chará^{1,2},
Enrique Murgueitio¹

Los sistemas silvopastoriles con alta densidad de árboles presentan la mayor riqueza, diversidad y abundancia de aves, lo que confirma que estos usos del suelo son una práctica de manejo amigable para la biodiversidad.

Estos sistemas también aumentan la conectividad entre ecosistemas y facilitan el movimiento de algunas especies que se encuentran restringidas a hábitats boscosos.



Foto: David Fajardo, Archivo CIPAV.

¹ Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV. Carrera 25 No 6-62, Cali, Colombia. david@cipav.org.co

² Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG

³ Asociación Calidris

Resumen

Mediante un inventario de la avifauna asociada a paisajes ganaderos en la cuenca media del río La Vieja, Colombia, se contabilizaron 11.620 individuos, pertenecientes a 188 especies, 19 órdenes y 49 familias; 41 especies más se observaron fuera de los muestreos para un total de 229. Se seleccionaron 14 usos del suelo para el muestreo; los frutales y las pasturas con alta densidad de árboles tuvieron la mayor abundancia de aves, en tanto que los remanentes de vegetación natural (bosque ribereño, guadual, bosque secundario y sucesiones vegetales) presentaron la mayor riqueza y diversidad de aves y el mayor número de especies de interés para la conservación. Todos los usos difieren significativamente en abundancia, riqueza y diversidad de aves, en relación con las pasturas sin árboles (naturales y mejoradas). Los resultados confirman que los remanentes de vegetación natural en paisajes ganaderos pueden albergar avifaunas ricas y con elementos de interés para la conservación. Por otra parte, los usos de la tierra con alta densidad de árboles albergan una porción considerable de la avifauna y pueden ser una práctica de manejo más amigable que la ganadería tradicional sin árboles.

Palabras claves: Sistemas silvopastoriles; conservación de especies; biodiversidad; aves; hábitat; bosque remanente; espaciamiento; utilización de la tierra, río La Vieja, Colombia.

Summary

Influence of silvopastoral systems on bird diversity in La Vieja watershed, Colombia.

An inventory of birds was carried out in fourteen different land uses in La Vieja River watershed, Colombia, where 11,620 individuals from 188 species, 19 orders and 49 families were detected; 49 more species were recorded outside the sampling plots. The land uses 'fruit trees' and 'pastures with trees' showed the highest abundance of birds, while 'remnant forests' (riparian, bamboo, secondary growth and successional forests) showed the highest bird diversity and richness, and the biggest amount of species of interest for conservation. In relation to treeless pastures (both natural and improved), all other land uses are significantly different in terms of abundance, richness and diversity. Results confirmed that the remnants of natural forests in cattle landscapes can house a variety of bird species, some of them of importance for conservation. Arboreal land uses can also hold rich populations of birds, and can be a more friendly management practice than traditional treeless cattle rising.

Keywords: Silvopastoral systems; species conservation; biodiversity; birds; habitat; remnant forest; ; spacing; land use; La Vieja river, Colombia.

Introducción

El sector pecuario es el mayor usuario de la tierra agrícola del planeta; se calcula que en 2001 ocupaba el 30% del recurso suelo en general y el 70% de la tierra agrícola (FAO 2002). En el trópico suramericano la ganadería ha modificado grandes extensiones del paisaje y la tendencia indica un incremento en las próximas décadas. Para Suramérica, el área calculada de pasturas en 2005 era de 516 millones de hectáreas. En Colombia,

la expansión de la ganadería ha afectado regiones de alta importancia ecológica, con lo que las áreas de bosques andinos y los bosques secos se han reducido a niveles críticos; asimismo, importantes áreas de bosques del piedemonte amazónico se han visto afectadas (Etter 1993, 2000; McAlpine et ál. 2009).

El manejo tradicional de la ganadería en América Latina considera a los árboles como perjudiciales para la producción. Tal concepción ha tenido como consecuencia la destrucción

de bosques y hábitats naturales para convertirlos en praderas sin árboles (Murgueitio et ál. 2003). Esta situación ha generado el aislamiento de los remanentes boscosos, cada vez más pequeños y escasos, inmersos en una matriz de sistemas agropecuarios; a escala regional, este se considera el principal factor para el descenso de las poblaciones de organismos (Renjifo 2001). Las aves son uno de los grupos más afectados por la fragmentación de bosques; hasta hace poco, la cacería y las especies introdu-

cidas causaban la mayor extinción de aves, pero hoy en día la mayor amenaza es la pérdida de hábitat (Renjifo et ál. 2002, Birdlife International 2004). Se cree que el impacto sobre los ecosistemas debido a la desaparición de las aves puede ser devastador (Sekergiolu et ál. 2004).

Las comunidades de aves se modifican al cambiar sus hábitats naturales por pasturas sin árboles; la riqueza de especies y la diversidad disminuyen y se incrementa la dominancia y el número de especies generalistas de hábitats abiertos (Renjifo 1999). Sin embargo, dentro de las áreas ganaderas existen diferentes arreglos y niveles de intensificación de producción. Algunos productores permiten el crecimiento de árboles en diferentes arreglos, cuyo resultado son los sistemas silvopastoriles donde coexisten árboles y pastos para ganado; así, se disminuye la fragmentación del paisaje y mejoran las condiciones de hábitat para las aves.

La zona cafetera en Colombia ha sufrido importantes modificaciones en el paisaje en las dos últimas décadas, debido principalmente a la crisis del sector cafetero que generó una eliminación drástica de cafetales y el establecimiento de nuevos sistemas agropecuarios -principalmente pastos mejorados para la ganadería (Sadeghian et ál. 1998). Esta transformación ha incidido en la fragmentación de los pocos hábitats naturales existentes. La presente investigación busca estudiar la diversidad de aves en paisajes ganaderos de la cuenca del río La Vieja, con el fin de determinar el efecto de diferentes coberturas sobre la avifauna local y analizar el impacto de la cobertura vegetal sobre estos organismos.

El área de estudio

El monitoreo se desarrolló en fincas ganaderas de la cuenca del río La Vieja, localizadas entre 900 y 1850 msnm en los municipios de



Foto: David Fajardo, Archivo CIPAV.

Las comunidades de aves se modifican al cambiar sus hábitats naturales

Cartago, Alcalá y Ulloa, en el valle del Cauca, y Armenia, Circasia, La Tebaida, Montenegro y Quimbaya en el departamento del Quindío. La zona posee un régimen de lluvias bimodal con picos en marzo y octubre; la precipitación promedio anual es de 1980 mm. Existen dos zonas de vida según la clasificación de Holdridge: bosque húmedo montano bajo en Circasia y Armenia, y bosque húmedo premontano en La Tebaida, Montenegro, Alcalá, Quimbaya, Cartago y Ulloa. El área total presenta un alto porcentaje de suelos bajo uso agropecuario.

Para llevar a cabo el estudio se identificaron los usos del suelo presentes en la zona según la clasificación propuesta por Murgueitio et ál. (2003). Se seleccionaron 14 usos con un gradiente de cobertura vegetal desde sin árboles hasta alta cobertura arbórea. Al azar, se seleccionaron ocho parcelas de monitoreo de aves por categoría de uso (112 en total), donde se realizaron los muestreos de aves y se midió la estructura de la vegetación. Las categorías de uso evaluadas fueron las siguientes:

PDS (pastura degradada)
 PNS (pastura natural sin árboles)
 PMS (pastura mejorada sin árboles)
 CS (cultivos semiperennes, como plátano)
 PNA (pastura natural con árboles)
 FR (frutales)
 PMA (pastura mejorada con árboles)
 SSP (sistemas silvopastoriles)
 CM (cerdas vivas)
 GU (guaduales (bosques de bambú))
 SV (sucesión vegetal)
 BR (bosque ribereño)
 BS (bosque secundario)
 BP (bosque primario)

Muestreo de aves

Se siguió la metodología de puntos de conteo de radio fijo modificada por Reynolds et ál. (1980). Las observaciones de aves se hicieron en la mañana entre las 06:00 y las 10:00 horas, en 112 parcelas de muestreo de 25 metros de radio durante diez minutos; cada parcela se visitó en ocho ocasiones entre enero de 2004 y junio de 2006. La identificación de las especies se llevó a cabo por comparación con las guías de aves de Hilty y Brown (1986, 2001), Peterson (1990), NAS (1994), Sibley (2000),

Canevari et ál. (2001), Rodríguez y Hernández (2002). Los archivos de autoridad taxonómica para los nombres científicos se basaron en la clasificación de especies de aves de Suramérica (Remsen et ál. 2004).

Evaluación de la vegetación

La estructura de la vegetación se evaluó en parcelas de 20 x 20 m, cuyo centro coincidió con la parcela de muestreo de aves. Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: número de árboles, altura de árbol, categoría de dap, diversidad de dap (heterogeneidad horizontal), diversidad de estratos vegetales (heterogeneidad vertical), volumen total de la vegetación y cobertura vegetal, según metodologías propuestas por Chipley et ál. (2003).

Análisis de los datos

Se evaluó la riqueza, la abundancia, la diversidad de especies, la dominancia y la equidad para determinar diferencias en la avifauna entre las distintas coberturas vegetales. Estos índices se obtuvieron mediante el programa BioDiversity Profesional (McAleece et ál. 1997). Se realizaron pruebas no paramétricas de análisis de varianza (Kruskal Wallis) y paramétricas (LDS Fisher, Duncan, Tukey) para evaluar diferencias entre los usos del suelo a partir de la riqueza, abundancia y diversidad de aves, número de árboles, número de arbustos y porcentaje de cobertura del dosel, por medio del programa Infostat / Profesional Versión 2005p1 (Di Rienzo et ál. 2005).

Resultados y discusión

En total se contabilizaron 11.620 individuos pertenecientes a 229 especies, 49 familias y 19 órdenes; además se registraron 41 especies de forma oportunista. Las familias que presentaron la riqueza más alta en los muestreos fueron los atrapamoscas (Tyrannidae) con 30 especies, los semilleros (Fringillidae) con 20, los colibríes (Trochilidae) con 14,

las tángaras y azulejos (Thraupidae) con 13 y las reinitas (Parulidae) con 13 (Fig. 1). En cuanto a su importancia, entre los atrapamoscas se encontró una especie endémica y cuatro migratorias; entre las tángaras, dos especies endémicas, una casi-endémica y una migratoria; entre los semilleros, una migratoria y entre las reinitas, siete especies migratorias. Por tanto, estos grupos no sólo son importantes por el número de especies que reportan, sino también por su importancia ecológica en el contexto continental.

La especie más abundante es el azulejo común (*Thraupis episcopus*; 'blue-gray tanager') con 1272 individuos registrados en 371 puntos de muestreo; le siguen la elaenia copetona (*Elaenia flavogaster*; 'yellow-bellied elaenia') con 550 individuos observados en 322 puntos, la suelda crestinegra (*Myiozetetes cayannensis*; 'rusty-margined flycatcher') con 412 individuos vistos en 194 puntos, el volatinero negro (*Volatinia jacarina*; 'blue-black grassquit') con 375 individuos en 162 registros, el mielero común (*Coereba flaveola*; 'bananaquit') con 370 en 174 registros y el cucarachero común (*Troglodytes aedon*; 'house wren') con 364 individuos en 199 muestreos.

El uso del suelo con la mayor abundancia promedio de aves por parcela fue el cultivo de frutales (28 individuos), seguido por PMA (25 individuos) y PNA (23 individuos). Los usos del suelo con menor abundancia promedio de aves por parcela fueron PMS, PNS y PDS, con promedios de 5,8, 4,83 y 2,29 individuos respectivamente. Los frutales y pasturas naturales y mejoradas con alta densidad de árboles no presentaron diferencias significativas entre ellos, pero sí con respecto a los demás usos. Todos los usos resultaron significativamente distintos de las pasturas mejoradas y naturales sin árboles (Kruskal-Wallis, $H = 317,28$; $p < 0.0001$) (Fig. 2).

Riqueza de especies

Al sumar los resultados de los ocho periodos de muestreo y todas las parcelas, el uso con mayor riqueza de especies fue el BR con 103 especies observadas, seguido por BS y SV con 92 y 88 especies respectivamente. Los usos con menor riqueza fueron PMS y PNS, con 45 y 38 especies respectivamente. Sin embargo, al analizar el número promedio de especies observadas por punto de muestreo, el cultivo homogéneo de frutales presentó la mayor riqueza, con 13 especies por punto de muestreo, seguido por las pasturas mejoradas y naturales con alta densidad de árboles; ambas con 12 especies por punto de muestreo, sin diferencias significativas entre ellas, aunque sí con las demás categorías de uso. En un punto intermedio estaban los bosques de guadua, la sucesión vegetal y los sistemas silvopastoriles intensivos que diferían significativamente de las pasturas mejoradas sin árboles –con cuatro especies– y las pasturas naturales sin árboles –dos especies en promedio (Kruskal-Wallis, $H = 351.00$; $P \leq 0.0001$) (Fig. 2).

Debido a la deforestación y al uso actual de la tierra, muchos hábitats no podrán recuperar nunca la cobertura vegetal para convertirse en sustitutos de los ecosistemas boscosos. No obstante, una planificación y un manejo adecuado de la composición y estructura de hábitats en zonas rurales bien podrían ser una buena alternativa para mantener, e incluso incrementar la viabilidad de algunas poblaciones de aves y la diversidad de este y otros grupos de fauna.

Diversidad

De acuerdo con el índice de Shannon-Wiener (Log base 10), los usos de la tierra que mayor diversidad presentaron fueron el bosque ribereño ($H' = 1,776$), el bosque secundario ($H' = 1,753$), la sucesión vegetal ($H' = 1,639$) y el bosque de guadua o bambú ($H' = 1,601$). Asimismo, la

menor diversidad se encontró en las pasturas mejoradas sin árboles ($H' = 1,347$) y en las pasturas naturales sin árboles ($H' = 1,075$) (Fig. 3). Los cultivos de frutales, las pasturas naturales con árboles y las pasturas mejoradas con árboles no resultaron diferentes entre ellos, pero sí mostraron diferencias altamente significativas con respecto a los demás usos del suelo. La sucesión vegetal presentó diferencias significativas con los frutales, pero no con las pasturas con árboles (Kruskal-Wallis, $H = 53.64$; $P = < 0.0001$) (Fig. 3). Todos los usos fueron significativamente diferentes de las pasturas mejoradas y naturales sin árboles, excepto la cerca viva manejada que no presentó diferencias significativas con la pastura mejorada sin árboles.

En las zonas ganaderas los sistemas silvopastoriles son un instrumento muy valioso para el ganadero, pues incrementan la productividad de su finca, a la vez que generan oportunidades para la conservación de la diversidad de aves. Este rol ha sido reconocido en zonas ganaderas de Colombia (Cárdenas 1998), Nicaragua (Pérez et al. 2004, Harvey et al. 2003) y Costa Rica (Cárdenas et al. 2003, Harvey et al. 2003, Lang et al. 2003, Sáenz y Menancho 2005).

En este estudio los sistemas silvopastoriles con alta densidad de árboles presentaron la mayor abundancia, riqueza y diversidad de aves en la cuenca del río La Vieja, por encima incluso de los ecosistemas boscosos, lo que coincide con lo reportado por Renjifo (2001). Esto pudiera deberse a la matriz de pasturas sin árboles que circunda y aísla cada vez más los ecosistemas boscosos y que, en consecuencia, influye positiva o negativamente en la abundancia de la avifauna.

La diversidad en los bosques secundarios y los bosques ribereños presentó valores promedio más bajos y significativamente diferentes con respecto a los frutales, las pasturas

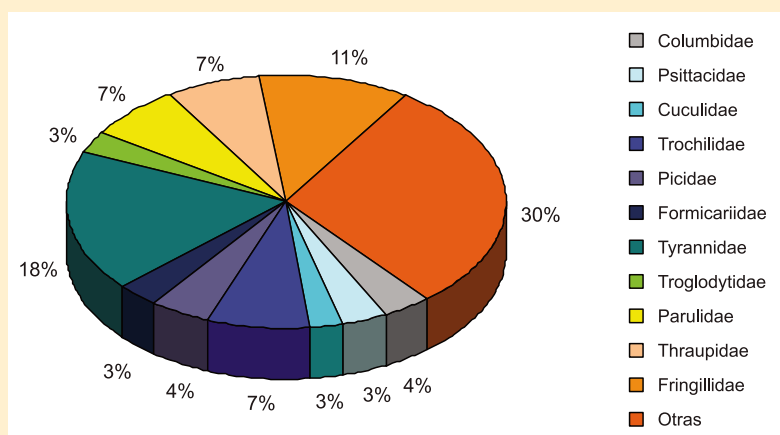


Figura 1. Composición de la avifauna presente en sistemas ganaderos de la cuenca del río La Vieja, Colombia, tanto en muestreos como en observaciones oportunistas.

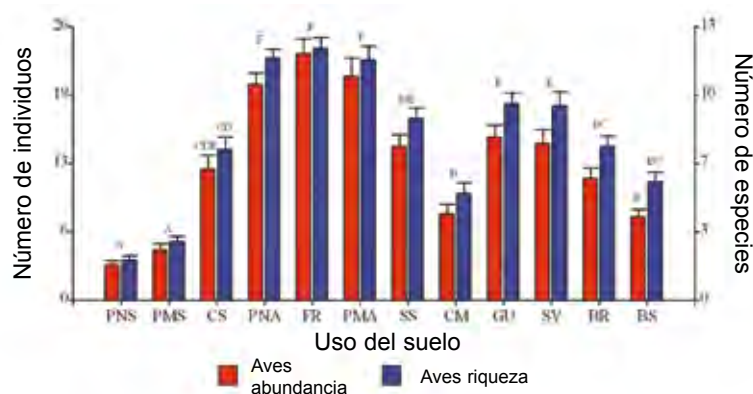


Figura 2. Promedios de abundancia y riqueza de aves en paisajes ganaderos de la cuenca del río La Vieja, Colombia

Categorías de uso: PDS (pastura degradada), PNS (pastura natural sin árboles), PMS (pastura mejorada sin árboles), CS (cultivos semiperennes, como plátano), PNA (pastura natural sin árboles), FR (frutales), PMA (pastura mejorada con árboles), SSP (sistemas silvopastoriles), CM (cercas vivas), GU (guaduales (bosques de bambú)), SV (sucesión vegetal), BR (bosque ribereño), BS (bosque secundario), BP (bosque primario).

Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas.

naturales y mejoradas con alta densidad de árboles, pero la diversidad acumulada de estos usos del suelo fue la más alta. Esto puede deberse a que cada fragmento de bosque secundario y ribereño tiene asociado un grupo de especies particular, es decir que su composición y diversidad difiere entre los fragmentos de

estos tipos de hábitat. A diferencia de estos, los sistemas silvopastoriles con alta densidad de árboles y los cultivos de frutales comparten una gran cantidad de especies, en su mayor parte generalistas y de amplia distribución. Las especies presentes en los sistemas silvopastoriles son, en su mayoría, generalistas que ayudan

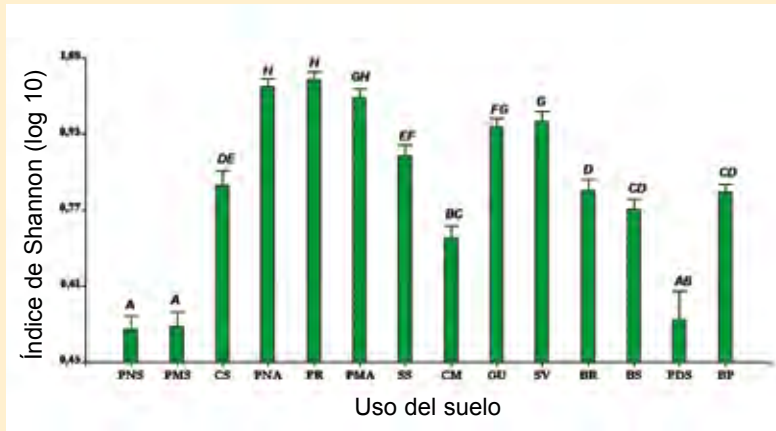


Figura 3. Diversidad promedio de aves

Promedio Índice de Shannon (H' Log base 10) por uso del suelo, diversidad de aves por uso del suelo.

Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas. Las categorías de uso son las mismas de la Fig. 2.

a mantener los procesos ecológicos vitales para toda la región, como polinización, control de plagas y dispersión de semillas.

Como era de esperarse, las pasturas naturales o mejoradas sin árboles y las pasturas degradadas por erosión presentan los valores más bajos en riqueza, abundancia, diversidad y equidad aviar. Este resultado coincide con lo encontrado en otras áreas del neotrópico dedicadas a la ganadería (Cárdenas et ál. 2003) o en ecosistemas modificados (Petit y Petit 2003), donde los sistemas más simples florística y estructuralmente son los que aportan menos a la diversidad.

Especies de interés para la conservación

Se observaron 41 especies con algún tipo de interés para la conservación, según el Listado de Áreas de Importancia para Conservación de Aves (AICAS) para Colombia (Birdlife International y Conservation International 2005), así como Stotz et ál. (1996), Hilty y Brown (1986, 2001), Renjifo et ál. (2002), Álvarez-López y Kattan (1995), Verhelst et ál. (2002) y Roda

et ál. (2003). Se determinó que hay cuatro especies endémicas, dos especies casi endémicas, una especie en peligro crítico, 39 especies incluidas en el apéndice II de Cites, dos especies incluidas en el apéndice III de Cites y 13 especies incluidas en el manual CITES de Colombia sobre comercio de animales vivos.

Las especies endémicas encontradas fueron el carpinterito punteado (*Picumnus granadensis*; 'grayish piculet'), la asoma candela (*Ramphocelus flammigerus*; 'flame-rumped tanager'), el atrapamoscas apical (*Myiarchus apicalis*; 'apical fly-catcher') y el habia copetona (*Habia cristata*; 'crested ant-tanager'). Las especies casi endémicas son el batará carcajada (*Thamnophilus multistriatus*; 'bar-crested antshrike') y la tángara rastrojera (*Tangara vitriolina*; 'scrub tanager') que se observan principalmente en zonas arboladas en el área de estudio. También se observó el sabanero grillo (*Ammodramus savannarum*; 'grasshopper sparrow'), cuya subespecie *A.s. cauae* es endémica de Colombia. Históricamente esta especie se encontraba en el alto valle del Cauca, en una extensión de alre-

dedor de 12.600 km²; sin embargo la totalidad de estos hábitats ha sido transformada por actividades agrícolas y pecuarias. Esta subespecie fue incluida en la Lista Azul (de alerta temprana) de aves en peligro para Colombia (Hilty 1985). El registro anterior más reciente de la especie fue un ave decomisada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca hace casi treinta años, motivo por el cual y por criterio de precaución se la considera en peligro crítico pues cualquier población, en caso de existir, ocupa un hábitat muy reducido (Álvarez-López 2002).

Los ecosistemas boscosos presentes en la zona de estudio conservan una alta diversidad y un número importante de especies; en especial aquellas limitadas o restringidas a este tipo de hábitat, pero es muy probable que sus poblaciones estén en declive, como lo afirman Renjifo (2001) y Kattan et ál. (2002). Por tal razón no sólo es necesario conservar este tipo de hábitats, sino también interconectarlos. El uso de árboles en las pasturas genera un ambiente atractivo para las aves, pues allí encuentran los recursos que requieren y la conectividad con otros paisajes, como lo menciona Harvey y Haber (1999) y Lang et ál. (2003) para sistemas silvopastoriles, o Jones et ál. (2002) y Petit y Petit (2003) en sistemas agroforestales. Según Renjifo (2001), las evidencias indican que una matriz de paisaje más compleja puede incrementar la movilidad de las especies de bosque hacia hábitats similares. Nosotros observamos que los fragmentos de bosques maduros, secundarios y ribereños pueden mantener una avifauna diversa, similar a la reportada por Renjifo (2001), aunque es posible que las poblaciones pequeñas hayan desaparecido.

En este estudio encontramos que el número de especies dependientes del bosque es bajo (11%), con una fuerte tendencia a disminuir

aún más debido a la transformación de los ecosistemas originales de la zona andina (Hilty 1985, Kattan et ál. 1994, Sadeghian et ál. 1998, Renjifo 1999, Etter y van Wyngaarden 2000). La mayoría de estas especies se encuentran restringidas a los bosques ribereños, secundarios y de guadua, y presentan diferencias significativas con respecto a los demás usos del suelo. Sin embargo, en algunas ocasiones se observaron especies dependientes del bosque aventurándose a cruzar a través de los ecosistemas transformados en busca de ecosistemas boscosos; tales sistemas transformados podrían ser una alternativa plausible, ante la inminente extinción de esas especies. En las pasturas sin árboles no se registraron especies dependientes del bosque. De no modificarse las prácticas ganaderas tradicionales, aumentará al deterioro acelerado de la diversidad, en especial de la composición y tamaño de las comunidades originales de aves (Renjifo 1999).

Los hábitats de crecimiento secundario en las regiones tropicales son muy importantes, tanto para las especies residentes como para las migratorias (Loiselle y Blake 1994, Hutto 1989). Este tipo de ecosistema, sin embargo, es el más afectado por el corte y la quema para desarrollar actividades agropecuarias que interrumpen el paso “natural” hacia sistemas más complejos, tanto en composición de aves y plantas como de estructura vegetal. Las especies con interés para la conservación representan el 23% de las especies observadas. La mayoría de ellas se encuentran en el Apéndice II de CITES (Roda et ál. 2003) y los usos que más reportan son las pasturas mejoradas con alta densidad de árboles, los bosques ribereños y los bosques secundarios. Así pues, los sistemas silvopastoriles con alta densidad de árboles podrían mantener ciertos niveles de complejidad estructural que brindan a dichas especies un hábitat alternativo ante



Las aves son uno de los grupos más afectados por la fragmentación de los bosques

Foto: David Fajardo, Archivo CIPAV.

un panorama que sólo augura su inminente desaparición, por pérdida de los ecosistemas originales.

Conclusiones

Los sistemas silvopastoriles con alta densidad de árboles presentan la mayor riqueza, diversidad y abundancia de aves, lo que confirma que estos usos del suelo son una práctica de manejo amigable para la biodiversidad. Los valores más bajos de riqueza, abundancia y diversidad de aves se encontraron en las pasturas naturales o mejoradas sin árboles, debido a la poca oferta de recursos alimenticios, de percha o refugio.

Los remanentes boscosos (guaduales, bosques secundarios y bosques ribereños) albergan a la mayoría de especies de aves dependientes del bosque; es evidente, entonces, que su aporte a la conservación de avifauna en el contexto regional es alto.

Los sistemas silvopastoriles con alta densidad de árboles aumentan la conectividad entre ecosistemas y facilitan el movimiento de algunas especies que se encuentran restringidas a hábitats boscosos.

Como ecosistema intermedio entre los usos manejados y los boscosos, las sucesiones vegetales tienen gran importancia en la conservación de la avifauna, ya que sirven como

interfase o amortiguador para las especies dependientes del bosque. Además, desempeñan un papel vital en el desarrollo de los ecosistemas pues son el eslabón entre los sistemas boscosos, los manejados con alta densidad de árboles y los que tienen pocos árboles.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto “Valoración de los bienes y servicios ambientales de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales Colombianos: Complejo Ecorregional Andes del Norte”, ejecutado por el Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIEBREG) con el apoyo de COLCIENCIAS. Agradecemos a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) por su apoyo logístico y los análisis de laboratorio realizados mediante los convenios CVC-CIPAV 202 de 2002 y CVC-CIPAV 056 de 2005. Además se contó con el apoyo del proyecto *Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas* financiado por el GEF-Banco Mundial y FAO-LEAD y del Proyecto *Fortalecimiento del Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV)* financiado por COLCIENCIAS – SENA (Contrato 480-2008).

Literatura citada

- Álvarez-López, H. 2002. *Ammodramus savannarum*. In Renjifo, LM; Franco-Maya, AM; Amaya-Espinel, JD; Kattan, G; López-Lanús, B. (Eds.). Libro rojo de aves de Colombia. Bogotá, Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Medio Ambiente. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia.
- Álvarez-López, H; Kattan, G. 1995. Notes on the conservation status of resident diurnal raptors of the middle Cauca Valley, Colombia. *Bird Conservation International* 5: 137-144.
- Birdlife International. 2004. State of the world's birds 2004: indicators for our changing world. Cambridge, United Kingdom.
- Birdlife International y Conservation International. 2005. Áreas importantes para la conservación de las aves de los Andes tropicales: Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. Quito, Ecuador, Birdlife International, 769 p. (Serie de conservación de Birdlife No. 14).
- Canevari, P; Castro, G; Sallaberry, M; Naranjo, LG. 2001. Guía de los chorlos y playeros de la región Neotropical. Santiago de Cali, Colombia, American Bird Conservancy, WWF-US, Humedales para las Américas, Manomet Conservation Science, Asociación Calidris.
- Cárdenas, G. 1998. Comparación de la composición y estructura de la avifauna en diferentes sistemas de producción. Tesis de Grado. Cali, Colombia, Universidad del Valle.
- Cárdenas, G; Harvey, CA; Ibrahim, M; Finegan, B. 2003. Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 78-85.
- Chiple, R; Wallace, G; Naranjo, LG. 2003. Manual para el monitoreo de biodiversidad. Washington DC, American Bird Conservancy. 42 p.
- Di Rienzo, JA; Balzarini, M; Casanoves, F; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2005. InfoStat / Profesional. Versión 2005p1. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba.
- Etter, A. 1993. Diversidad ecosistémica en Colombia hoy. In CEREC, Fundación Alejandro Ángel Escobar (Eds.). Nuestra diversidad biológica. Bogotá, Colombia. p. 43-61.
- Etter, A; van Wyngaarden, W. 2000. Patterns of landscape transformation in Colombia, with emphasis in the Andean region. *Ambio* 29(7): 432-439.
- FAO. 2002. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Informe resumido. Roma, Italia.
- Harvey, CA; Haber, W. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44: 37-68.
- Harvey, CA; Villanueva, C; Villacís, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Gómez, R; Taylor, R; Martínez, J; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vilchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Kunth, S; Sinclair, FL. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 30-39.
- Hilty, SL. 1985. Distributional changes in the Colombian avifauna: a preliminary blue list. In Buckley, PA; Foster, MS; Morton, ES; Ridgely, RS; Buckley, FG. (Eds.). Neotropical Ornithology. Lawrence, Kansas, USA, American Ornithologist's Union. Ornithological Monographs N° 36. p. 1000-1012.
- Hilty, SL; Brown, WL. 1986. A guide of the birds of Colombia. Princeton, NJ, USA, Princeton University Press.
- Hilty, SL; Brown, WL. 2001. Guía de las aves de Colombia. Traducción Álvarez-López, H. Washington DC, American Bird Conservancy.
- Hutto, RL. 1989. The effect of habitat alteration on migratory land birds in a west Mexican tropical deciduous forest: a conservation perspective. *Conservation Biology* 3(2):138-148.
- Jones, J; Ramoni-Perazzi, P; Carruthers, EH; Robertson, RJ. 2002. Species composition of bird communities in shade coffee plantations in the Venezuelan Andes. *Ornithologia Neotropical* 13:397-412.
- Kattan, G; Álvarez-López, H; Giraldo, M. 1994. Forest fragmentation and bird extinctions: San Antonio eighty years later. *Conservation Biology* 8:138-146.
- Kattan, G; Hernández, OL; Rojas, V; Trujillo, A; Murcia, C. 2002. Diseño de un sistema regional de áreas protegidas para el Eje Cafetero. Informe Final Fase 1: Análisis de representatividad. Bogotá, Colombia, Fundación EcoAndina / Wildlife Conservation Society, WWF-Colombia.
- Lang, I; Gormley, LHL; Harvey, CA; Sinclair, FL. 2003. Composición de la comunidad de aves en cercas vivas del Río Frío, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 86-92.
- Loiselle, BA; Blake, JG. 1994. Annual variation in birds and plants of a tropical second-growth woodland. *Condor* 96(2): 368-380.
- McAlpine, CA; Etter, A; Fearnside, PM; Seabrook, L; Laurance, W. 2009. Increasing world consumption of beef as driver of regional and global change: A call for policy action based on evidence from Queensland (Australia), Colombia and Brazil. *Global Environmental Change* 19(1): 21 - 33.
- McAleece, N; Lamshead, PJD; Paterson, GLJ; Gage, JD. 1997. BioDiversity Professional, version 2 Beta. Edinburgh, Scotland, The Natural History Museum, Scottish Association for Marine Science. biodiversity@nhm.ac.uk.
- Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, CE; Casasola, YF. 2003. Usos del suelo en fincas ganaderas: guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. Cali, Colombia, CIPAV, CATIE, NITLAPAN.
- NAS (National Audubon Society). 1994. Field guide to birds, Eastern Region, North America. New York.
- Peterson, RT. 1990. A field guide to Western birds. New York, Houghton Mifflin Company.
- Petit, LJ; Petit, DR. 2003. Evaluating the importance of human-modified lands for Neotropical bird conservation. *Conservation Biology* 17(3): 687-694.
- Pérez, AM; Ramírez, F; Arana, I; Ramírez, I; Sotelo, M. 2004. Composición y riqueza de aves, moluscos y plantas asociadas con sistemas silvopastoriles de Matiguás y Río Blanco, Dpto. de Matagalpa, Nicaragua. Managua, Nicaragua, Asociación Gaia. Informe de consultoría presentado a CATIE. 33 p.
- Remsen, JV, Jr.; Jaramillo, A; Nore, AM; Robbins, MB; Schulenberg, TS; Stiles, FG; da Silva, JMC; Stotz, DF; Zimmer, KJ. 2004. A classification of the bird species of South America. American Ornithologists' Union. Disponible en <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html>
- Renjifo, LM. 1999. Composition changes in a sub-Andean avifauna alter long term forest fragmentation. *Conservation Biology* 13(5): 1124-1139.
- Renjifo, LM. 2001. Effect of natural and anthropogenic landscape matrices on the abundance of sub-Andean bird species. *Ecological Applications* 11(1):14-31.
- Renjifo, LM; Franco-Maya, AM; Amaya-Espinel, JD; Kattan, G; López-Lanús, B. (Eds.). 2002. Libro rojo de aves de Colombia. Bogotá, Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Medio Ambiente. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia.
- Roda, J; Franco, AM; Baptiste, MP; Múnera, C; Gómez, DM. 2003. Manual de identificación CITES de aves de Colombia. Bogotá, Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Serie de Manuales de Identificación CITES de Colombia.
- Rodríguez, JV; Hernández, JI. 2002. Loros de Colombia. Bogotá, Colombia, Conservation International. Tropical Field Guide Series.
- Reynolds, RT; Scott, JM; Nussbaum, RA. 1980. A variable circular-plot method for estimating bird numbers. *Condor* 82:309-313.
- Sadeghian, S; Calle, Z; Calle, N. 1998. Efectos de la transformación de sistemas cafeteros en el departamento de Quindío. Armenia, Colombia, Corporación Autónoma Regional del Quindío.
- Sáenz, JC; Menancho, RM. 2005. Riqueza y abundancia de las aves migratorias en paisajes agropecuarios de Esparza, Costa Rica. *Zeledonia* (Boletín de la Asociación Ornitológica de Costa Rica) 9(1):10-21.
- Sekergiolu, ÇH; Daily, GC; Ehrlich, PR. 2004. Ecosystem consequences of bird declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(52): 18042-18047. Disponible en www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0408049101
- Sibley, DA. 2000. The Sibley guide to birds. New York, Alfred Kopf Publisher.
- Stotz, DF; Fitzpatrick, JW; Parker, TA; Moskovits, DK. 1996. Neotropical birds, ecology and conservation. Chicago, USA, The University of Chicago Press.
- Verhelst, JC; Botero, J; Orrego, O; Fajardo, D. 2002. El carpinterito gris, *Picumnus granadensis*, en las regiones cafeteras de Colombia. *Caldasia* (24):1:201.

Identificación y valoración de los servicios ecológicos prestados por los suelos bajo distintas coberturas en la cuenca del río La Vieja, Colombia

Miguel Angel Dossman¹;
Ligia María Arias-Giraldo²;
Juan Carlos Camargo³

Según el estudio, se ubicaron tres unidades de análisis en el rango de valoración “mejoramiento”, que representa un deterioro moderado de los servicios prestados por el suelo. Los índices de las unidades de análisis consideradas son útiles para orientar acciones en donde se requiere mayor atención y, en consecuencia, es necesario incentivar acciones tendientes a mejorar las condiciones a través de usos y prácticas adecuadas. Es posible monitorear el mejoramiento a través de los índices de la unidad de análisis y medir el nivel de resiliencia del ecosistema a las acciones que se implementan.

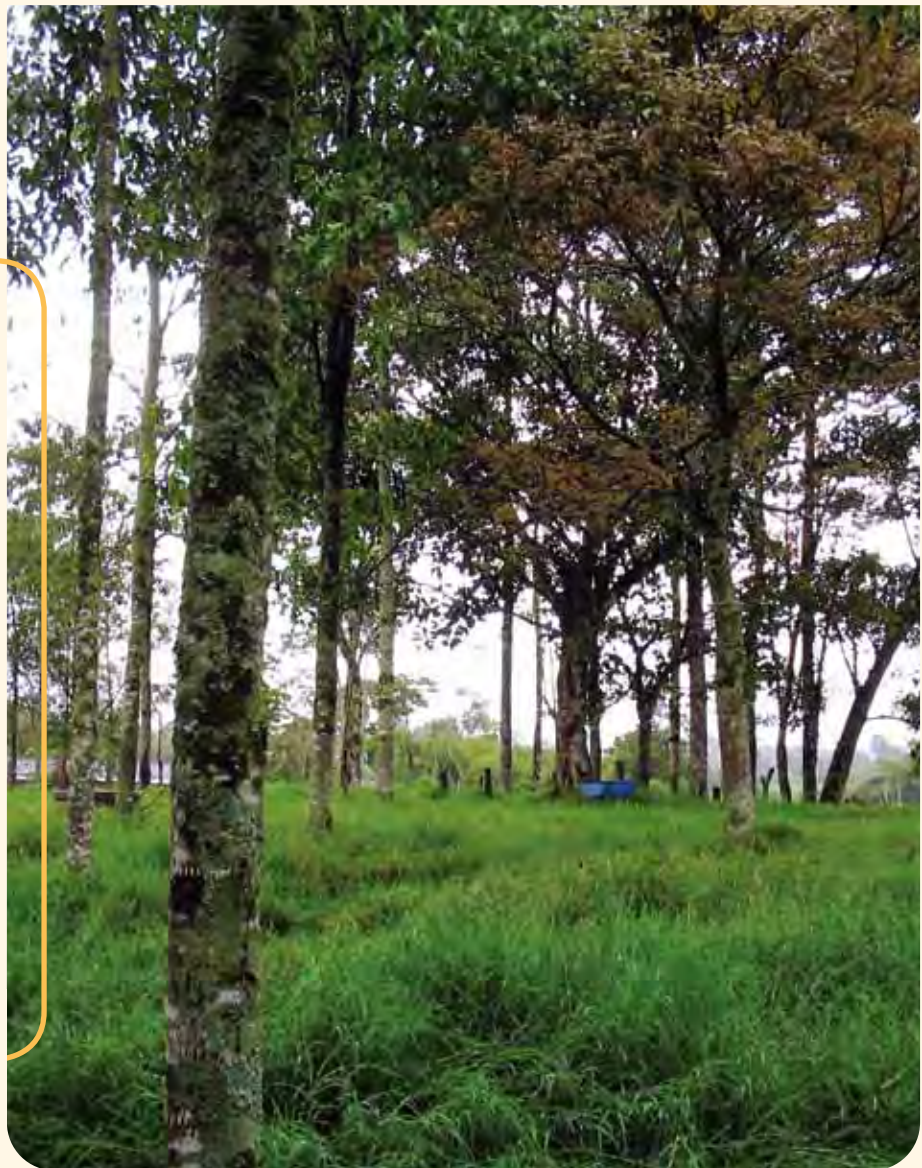


Foto: Miguel Angel Dossman.

¹ Investigador. Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos CIEBREG. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. mdossman@utp.edu.co
² Investigadora CIEBREG. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. larias@utp.edu.co
³ Profesor Asociado. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. jupipe@utp.edu.co

Resumen

Para la valoración no económica de los servicios ecológicos prestados por el suelo en la cuenca del río La Vieja (Colombia) se colectó información sobre propiedades físicas y bioquímicas de los suelos en 108 puntos con distintas coberturas y usos (bosque natural, guadua bambú, monocultivos, policultivos, pasturas y sistemas silvopastorales). Un análisis de los componentes principales permitió definir las variables con mayor peso en la variabilidad de los datos. Mediante un análisis de conglomerados se definieron tres unidades de análisis donde se determinaron cinco servicios ecológicos (disponibilidad de nutrientes, capacidad de enraizamiento, disponibilidad de agua, resistencia a la erosión y fijación de CO₂). Después, mediante la ponderación de los valores de los servicios ecológicos, se determinaron los índices de uso de la tierra, servicio ecológico y unidad de análisis. Estos índices permitieron ponderar las unidades de análisis: la UA2 obtuvo el mayor índice (2,88), seguida por la UA1 (2,77) y la UA3 (2,40). Con esta cualificación se determinó que las tres unidades ecológicas se ubican en la categoría de mejoramiento para la prestación de servicios ecológicos del suelo.

Palabras claves: Servicios ambientales; utilización de la tierra; disponibilidad de nutrientes; enraizamiento; disponibilidad del agua; erosión; fijación de carbono; cobertura natural; río La Vieja, Colombia.

Summary

Identification and valuation of ecological services provided by soil under different vegetative covers in La Vieja River Basin, Colombia.

In order to carry out a non-economic valuation of the ecosystem services provided by soils in La Vieja river basin, information on physical and biochemical soil properties from 108 sites with different land cover was gathered (forest, bamboo, monoculture, policulture or mixed crop, pastures and silvopastoral systems). Variables with the highest variability were identified by means of an analysis of the main components; three units of analysis were defined through a cluster analysis. With threshold values assigned to soil characteristics, five ecosystem services were identified: nutrients availability, water availability, rooting capacity, erosion resistance and CO₂ fixation. Thereafter, values of ecosystem services were weighted to determine indices for land use, ecosystem service and unit of analysis. These indices were used to weight the units of analysis; unit 2 obtained the highest value (2.88), followed by unit 1 (2.77) and unit 3 (2.40). According to index values, the three units were categorised at level of improvement for the provision of soil ecosystem services.

Keywords: Ecosystem services; land use; nutrient availability; rooting; water availability; erosion; carbon fixation; natural coverage; La Vieja river, Colombia.

Introducción

La valoración de los servicios ecológicos prestados por los diferentes ecosistemas en los paisajes rurales se ha consolidado como una estrategia de conservación y desarrollo sostenible que permite revertir los procesos de degradación y pérdida de biodiversidad. Con dicha estrategia se pretende que los sistemas productivos propios

de los paisajes rurales ayuden a su conservación y a la recuperación de la calidad de vida de los pobladores. Desde esta perspectiva, los planificadores, los generadores de políticas públicas y los tomadores de decisiones en los diferentes procesos de ordenamiento territorial, ocupación del territorio y manejo de los recursos naturales deben desarrollar una visión integradora y proponer

alternativas plausibles. Este es el caso de la valoración de los servicios ecológicos ofrecidos por los recursos naturales -y en especial del recurso suelo. Mediante la valoración de servicios ecológicos se busca compensar a los agricultores que aplican prácticas amigables con el entorno, por las ganancias financieras que sacrifican a corto plazo, con el fin de conservar y mantener las relaciones

funcionales entre el ámbito rural y el ámbito urbano.

El suelo, como conjunto de cuerpos naturales, está en continua evolución y cambia constantemente por condiciones naturales; sin embargo, el manejo realizado por el hombre es la principal causa del cambio de sus características. La mayoría de las veces, el manejo impacta en forma negativa; en consecuencia, se deterioran los servicios que el suelo provee al ecosistema y a las comunidades que lo utilizan como soporte para la generación de actividades productivas. Un manejo adecuado de la cobertura vegetal y buenas prácticas de manejo hacen que los servicios ecológicos mejoren, o por lo menos se mantengan.

Valoración de los servicios ecológicos del suelo

Algunas funciones del suelo se asocian con la productividad y la biodiversidad (actividades agropecuarias y forestales), con la regulación de flujos de agua (ciclo hidrológico y su dinámica), con la filtración y amortiguamiento de la contaminación ambiental, y con los ciclos nutrimentales en procesos agropecuarios y forestales y dentro del ecosistema, o bien sirven de soporte estructural y de resistencia a la degradación física (estabilidad estructural) y la prevención de desastres por movimientos masales (Arshad y Coen 1992, Stork y Eggleton 1992, Visser y Parkinson 1992, Berry 1994, Kennedy y Papendick 1995, Franzluebbers y Arshad 1997, Karlen et ál. 1997, Stenberg 1999, Franzluebbers et ál. 1999, Singer y Ewing 2000).

Los servicios ecológicos prestados por el suelo son fundamentales para los demás servicios de los ecosistemas (suministro, de regulación y culturales) (MEA 2005). Recientemente, el tema de la valoración de servicios prestados por la naturaleza ha recibido

un impulso importante; en especial, se ha fortalecido la investigación relacionada con la valoración de los servicios previstos por el recurso agua y por la flora y fauna (Quezada 2003, Medellín 2002, Barzev 2002, Arango 1999). Sin embargo, todavía no se tiene mucha información relacionada con los servicios ecológicos prestados por el suelo, y la existente, normalmente es de índole general o no tiene en cuenta servicios fundamentales para la funcionalidad ecosistémica en coberturas protectoras y en diferentes niveles de sistemas de producción.

Para la valoración de los servicios prestados por los ecosistemas se han desarrollado dos líneas de investigación: la primera basada en la economía neoclásica (economía ambiental), la cual busca solucionar los problemas de corto plazo que surgen entre la economía y la ecología. La principal preocupación de la economía ambiental es la necesidad de internalizar el tema ambiental en los procesos de toma de decisiones para orientar los postulados del desarrollo sustentable⁴. La segunda línea de investigación es la economía ecológica, la cual se fundamenta en el principio de que *“la tierra tiene una capacidad limitada para mantener a los seres humanos y sus artefactos determinada por límites de combinaciones de recursos y umbrales ecológicos. Para mantener la economía operando de modo sustentable dentro de los límites es necesario establecer políticas ambientales específicas”* (Constanza et ál. 1999).

A partir de la valoración ecológica, este estudio busca construir una línea de base para la cuenca baja del río La Vieja, Ecorregión del Eje Cafetero, Colombia. Dicha línea de base servirá para el monitoreo y seguimiento de las acciones en los diferentes entes territoriales, en busca de la articulación armoniosa

entre el hombre y la naturaleza. Con el tiempo, este proceso será fundamental para el diseño de estrategias de pago por servicios ecológicos en diferentes zonas del país. De igual manera, se pretende ofrecer elementos fundamentales a las instituciones ambientalistas y de producción para el diseño, formulación y ejecución de proyectos que se enmarquen en la conservación de los recursos naturales y la producción agropecuaria y forestal. Se pretende, también, contribuir al mantenimiento, mejoramiento y restauración de los servicios ecológicos prestados por el suelo y de los procesos funcionales para el manejo adecuado de los ecosistemas por parte de las comunidades campesinas, con el fin de promover una utilización racional de los recursos de base.

El sitio de estudio

La cuenca del río La Vieja se localiza en el centro-occidente de Colombia (4°04' - 4°49' norte y 75°24' - 75°57' oeste), en jurisdicción territorial de los departamentos del Quindío, Risaralda y Valle del Cauca. La cuenca tiene una extensión aproximada de 2925 km² y una población de 1.107.521 habitantes (378 hab/km²) (Carder-Fonade 2007). Si bien se prevé el desarrollo de herramientas teóricas y metodológicas que permitan valorar los servicios ecológicos que ofrecen los recursos naturales, para este estudio lo fundamental es la valoración de los servicios ecológicos del suelo bajo distintas coberturas naturales (transformadas y no transformadas) en la cuenca baja.

Para la determinación de las características de los suelos en la cuenca baja del río La Vieja, *a priori* se definieron tres unidades de análisis (UA), las cuales corresponden a tres posiciones en el paisaje y presentan rangos similares en altura sobre el nivel del mar, cobertura y

⁴ Adaptado de CEPAL (1994).

uso de la tierra y sistemas de producción. La delimitación de estas áreas se hizo por medio de sensores remotos y visitas de campo. Cada UA tiene un área de 7500 ha, en donde se tomaron muestras de suelo para identificar las características químicas, físicas y biológicas (Cuadro 1). Las unidades de muestreo dentro de cada unidad de análisis se definieron de acuerdo con el tipo de cobertura: cobertura natural o no transformada (bosques naturales y guadua) y cobertura transformada (monocultivos, policultivos, pasturas y sistemas silvopastoriles).

La UA1 se ubica en la zona más baja de la cuenca (1015-1200 msnm), en suelos compactados y con saturación de bases altas -especialmente en donde la ganadería es la principal actividad económica. En años recientes, en algunas áreas se han iniciado procesos de reconversión de la ganadería mediante el establecimiento de sistemas silvopastoriles. La UA2 se ubica en elevaciones medias (1250-1600 msnm), en áreas dedicadas a cultivos agrícolas en arreglos de varias especies o especie única, en suelos de mediana fertilidad. La UA3 se ubica en la parte media de la cuenca (1700-2000 msnm), en suelos con buenas propiedades físicas, aunque no muy fértiles; allí predominan las pasturas con acompañamiento de coberturas boscosas (Fig. 1).

Se definieron 108 puntos de muestreo: 13 en bosques, 6 en guadua, 15 en policultivos, 27 en monocultivos, 14 en pastos y 33 en sistemas silvopastoriles (Fig. 2). Para la evaluación de las propiedades físicas del suelo (densidad aparente y real, conductividad hidráulica, curvas de retención de humedad, compactación y estabilidad estructural) se tomaron muestras entre 0-15 cm, 15-30 cm y 45-50 cm en bolsa (muestra disturbada) y en cilindro de volumen conocido (muestra no disturbada). Para los análisis químicos y biológicos (acidez, bases,

Cuadro 1. Distribución del muestreo realizado en la cuenca del Río La Vieja

	UA1		UA2		UA3		Total	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
	9	23,7	0	0	10	30,3	19	17,6
Bosque	3	33,3	0	0	10	100,0	13	68,5
Guadua	6	66,7	0	0	0	0,0	6	31,6
Transformado	29	76,3	37	100	23	69,7	89	82,4
Silvopastoril	16	55,2	2	5,4	9	39,1	27	30,3
Cítricos	1	3,4	5	13,5	0	0,0	6	6,7
Mixto	3	10,3	10	27,0	2	8,7	15	16,9
Pasturas	4	13,8	5	13,5	5	21,7	14	15,7
Café	1	3,4	4	10,8	2	8,7	7	7,9
Plátano	2	6,9	5	13,5	0	0,0	7	7,9
Yuca	0	0,0	5	13,5	0	0,0	5	5,6
Banco de forraje	0	0,0	0	0,0	5	21,7	5	5,6
Leucaena	1	3,4	0	0,0	0	0,0	1	1,1
Plantación guadua	1	3,4	0	0,0	0	0,0	1	1,1
Maíz	0	0,0	1	2,7	0	0,0	1	1,1
Total	38	35,2	37	34,3	33	30,6	108	100,0

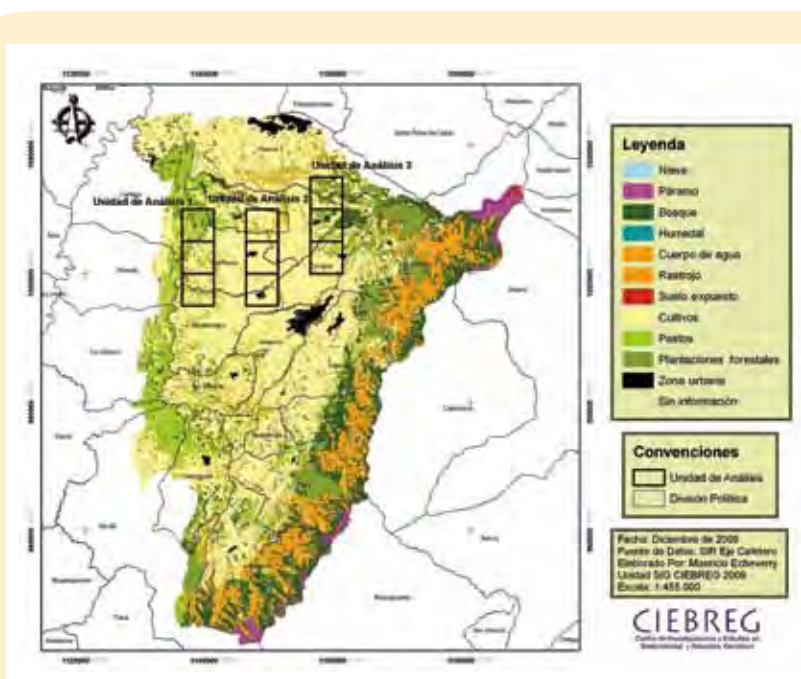


Figura 1. Ubicación de las unidades de análisis en la cuenca del río La Vieja

Fuente: Sistema de Información Regional, Ecorregión del Eje Cafetero.

capacidad de intercambio catiónico, fósforo y materia orgánica), las muestras se tomaron a profundidades de 0-25 y 25-50 cm. Las muestras fueron enviadas a los laboratorios para las respectivas determinacio-

nes. Con los resultados de los análisis de laboratorio (propiedades físicas y bioquímicas), se hizo un análisis de componentes principales para determinar cuáles variables tiene mayor peso en la variabilidad del conjunto

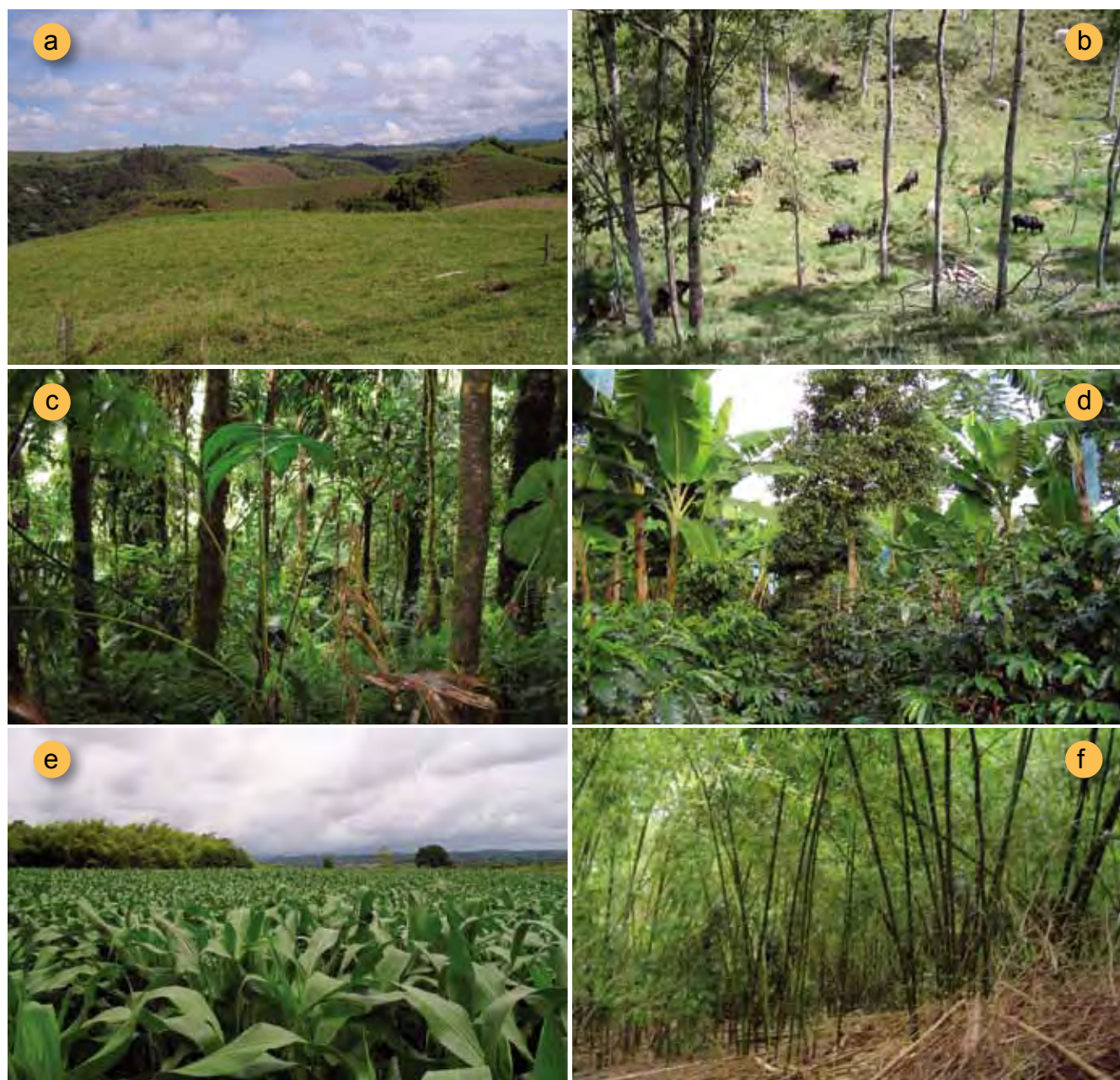


Figura 2.

a. Pastos
d. Policultivos

b. Sistemas silvopastoriles
e. Monocultivos

c. Bosque
f. Guaduales

Fotos: Miguel Angel Dossman.

de datos. Con estas variables, posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados para agrupar los sitios muestreados y ratificar la clasificación preliminar.

Sobre cada unidad de análisis, y a partir de las características de los suelos, se establecieron rangos de valores y umbrales que permiten la definición de los servicios ecológicos.

La valoración de los servicios ecológicos de suelo se realiza a partir de la interpretación de los rangos del índice de la unidad de análisis (Cuadro 2). Para este procedimiento se tomaron en cuenta las variables físicas y bioquímicas de los suelos que definen cada uno de los servicios ecológicos. Luego, se ponderaron valores de los servicios ecológicos

para determinar los índices de uso de la tierra, servicio ecológico y unidad de análisis. El **índice de uso de la tierra** representa el valor asignado a cada uno de los servicios ecológicos para cada una de las coberturas y usos de la tierra en la unidad de análisis. El **índice del servicio ecológico** corresponde al valor de cada uno de los servicios ecológicos bajo

Cuadro 2. Valoración de los servicios ecológicos del suelo

Valor	Rango	Cualidad
<1	Muy bajo	Restauración
1,0 – 1,9	Bajo	
2,0 – 2,9	Medio	Mejoramiento
3,0 – 3,9	Alto	Mantenimiento
≥4	Muy alto	

una cobertura y el uso definido de la unidad de análisis. Finalmente, el **índice para la unidad de análisis** (índice de resultado) se obtiene del promedio ponderado de las diferentes coberturas y usos presentes en la unidad de análisis y los índices de uso. La unidad de análisis puede ser una finca, una cuenca, un núcleo de análisis, un municipio, una vereda, un departamento:

$$((\text{Índice de uso1} * \% \text{ del uso1}) + (\text{Índice de uso2} * \% \text{ del uso2}) \dots + (\text{Índice de uso n} * \% \text{ del uso n}))$$

Resultados y discusión

En el marco de la presente investigación se identificaron cinco servicios ecológicos: disponibilidad de nutrientes, resistencia a la erosión, capacidad de enraizamiento, disponibilidad de agua y capacidad fijadora de dióxido de carbono. Cada uno de ellos se sustenta en las diferentes propiedades bioquímicas y físicas de los suelos.

Como se muestra en el Cuadro 3, en la UA1, el mayor índice de uso se registró en los bosques, la guadua y las pasturas (3,40). La actividad agrícola tuvo los índices más bajos, lo que hace pensar que esa actividad genera un impacto importante en las propiedades del suelo y deteriora los servicios que presta. En la UA2 la situación cambia y el valor más alto se registró en los sistemas silvopastoriles (de hecho, el índice más alto para las tres unidades de análisis). Debe tenerse en cuenta que en esta unidad de análisis no se tiene información para los bosques y la guadua. En la UA3, los índices más altos se registraron en los sistemas silvopastoriles y los pastos, seguido por el bosque y, por último, los sistemas agrarios.

En cuanto a los servicios ecológicos prestados por el suelo (Cuadro 4), los valores más altos en la UA1 mostraron la capacidad de enraizamiento (3,83), seguido por la

disponibilidad de nutrientes (3,67) y resistencia a la erosión (3,50). Estos resultados se sustentan en la dinámica y presencia de un fuerte componente ganadero, asociado con relictos de bosques y guadua. Los campesinos han generado una cultura ganadera aplicando un manejo adecuado. En general las fincas son de gran extensión (mayores de 100 ha), lo que hace que el impacto al suelo no sea tan fuerte. En esta unidad de análisis, los sistemas silvopastoriles presentaron un valor de 3,00 (Cuadro 3) lo cual hace pensar que el poco tiempo que tales sistemas han estado vigentes no ha sido suficiente para modificar las características del suelo, y que al momento de realizarse la reconversión había una alta degradación de las propiedades del suelo. De otro lado, la posición fisiográfica y el relieve han favorecido la acumulación de materiales volcánicos que han contribuido a incrementar la profundidad, mejorar la estructura y aumentar el espacio poroso del suelo, todo lo cual facilita la penetración de las raíces.

En la UA2, los servicios ecológicos con mayor índice fueron la capacidad de enraizamiento y la disponibilidad de agua (Cuadro 4). En esta unidad de análisis, el índice de servicios está muy relacionado con el grado de cobertura del suelo; los mejores índices se encuentran en sistemas con alta densidad de árboles, con mezclas de especies y con altos aportes de materia orgánica (leucaena en el caso del sistema silvopastoril). Se espera que también otros índices -como el de biodiversidad- mejoren en estos usos. Los usos que mostraron los índices más bajos corresponden a cultivos de una sola especie y con alta densidad de uso. En esta unidad se observó que los índices tienden a mejorar en la medida que el uso se asemeja a un sistema boscoso; desafortunadamente no se tiene información de los pocos bosques que se encuentran en esta unidad.

Cuadro 3. Índices de uso en las tres unidades de análisis evaluadas

UA No.	Índice del uso					
	Bosque	Guadua	Monocultivos	Policultivos	Pasturas	SSP
UA1	3,40	3,40	2,80	3,00	3,40	3,00
UA2	NR	NR	3,20	3,40	3,40	4,00
UA3	3,00	NR	2,60	2,80	3,20	3,20

UA= unidad de análisis, NR= sin registro, SSP= sistemas silvopastoriles

Cuadro 4. Índices de servicios ecológicos en las tres unidades de análisis evaluadas

UA No.	Índice del servicio				
	Disponibilidad de nutrientes	Resistencia a la erosión	Capacidad de enraizamiento	Disponibilidad de agua	Capacidad fijadora de CO ₂
1	3,67	3,50	3,83	2,00	2,83
2	3,25	3,50	4,00	4,00	3,50
3	2,40	3,40	4,00	1,80	3,20

De las tres unidades evaluadas, la UA3 es la que presenta los índices de servicios más bajos. No obstante, al igual que en las otras unidades, la capacidad de enraizamiento presentó el índice mayor, seguido de la resistencia a la erosión y la capacidad fijadora de CO₂ (Cuadro 4). Los índices de uso más alto de la unidad se presentaron en sistemas silvopastoriles y policultivos (Fig. 3), lo que tiene efecto en los servicios que el sistema ofrece. Se presentan mayores aportes de materia orgánica, hay menos procesos de mineralización y hay más acumulación de carbono orgánico y con ello mayor fijación de CO₂. Esta dinámica se ve reflejada en la prestación de los servicios ecológicos del suelo.

Los mayores índices obtenidos para la capacidad de enraizamiento en las tres unidades confirman las buenas condiciones físicas del suelo y una estabilidad importante de las partículas que denotan una buena resistencia a la erosión. No obstante, a medida que se asciende en altitud, las condiciones de menor temperatura incrementan la acumulación de materia orgánica y mejoran las condiciones físicas, pero aumenta la acidez y disminuye la disponibilidad de nutrientes para las plantas.



Foto: Miguel Angel Dossman.

Figura 3. Unidad de análisis 3: sistemas silvopastoriles con nogal (*Cordia alliodora*) en finca

En la Fig. 4 se pueden observar los tres índices de resultados para las unidades de análisis. Según los valores obtenidos, las tres unidades de análisis se ubicaron en el rango de valoración “mejoramiento”, que representa un deterioro moderado de los servicios prestados por el suelo. Los índices de las unidades

de análisis son útiles para orientar acciones en donde se requiere mayor atención y, en consecuencia, es necesario incentivar acciones tendientes a mejorar las condiciones a través de usos y prácticas adecuadas. Es posible monitorear el mejoramiento a través de los índices de la unidad de análisis y medir el nivel

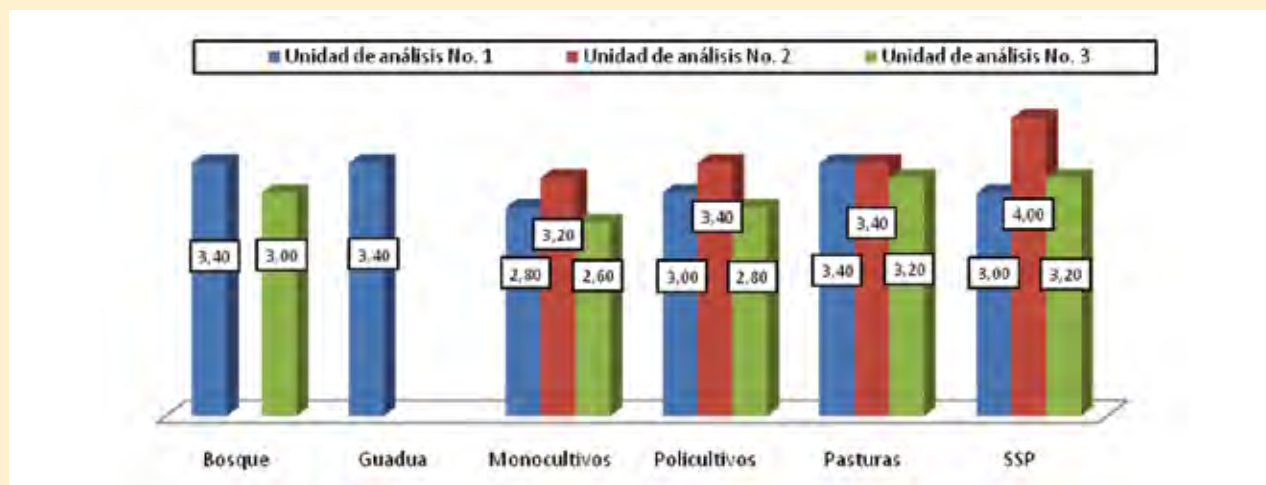


Figura 4. Índices de resultado para las tres unidades de análisis evaluadas

de resiliencia del ecosistema a las acciones que se implementan.

Conclusiones

La herramienta de valoración utilizada en este trabajo puede emplearse en diferentes ámbitos. En el sector académico, facilita la ejecución de proyectos para determinar las condiciones del suelo, sus relaciones con los ecosistemas y las prácticas de manejo de suelos. En el sector productivo, sirve a productores, campesinos y/o propietarios interesados en darle un manejo adecuado a sus recursos; a las instituciones de fomento agrícola, interesadas en valorar el estado de los servicios ecológicos del suelo, les ayuda a evaluar los impactos a los que están siendo sometidos los paisajes rurales.

Asimismo, esta herramienta permite generar una base importante para la toma de decisiones y el reconocimiento de líneas estratégicas para la conservación y la producción, con el mínimo impacto a los suelos. La colaboración con organizaciones no gubernamentales que trabajan en el sector rural y ambiental incrementaría el interés por calificar los servicios ecológicos del suelo y su funcionalidad en los ecosistemas de los paisajes rurales.

La valoración como metodología busca ampliar el conocimiento y las habilidades para el análisis de los procesos inherentes a la dinámica del sector rural, permite jerarquizar los problemas asociados con las prácticas y la calidad de los suelos en las diferentes cobertu-

ras en el territorio, y ayuda para que en forma integral se busquen soluciones a la problemática rural. No obstante, la valoración hace explícita sus limitaciones y sus exigencias en términos de recursos y de información. En este estudio no fue posible abordar el conocimiento de otras disciplinas y saberes, en especial desde las ciencias sociales. Con ello se sugiere la vital exigencia de articularla con visiones menos técnicas, pero de igual o mayor importancia, que permitan incorporar el conocimiento de los trabajadores del campo, ya que son ellos quienes aportan la experiencia del trabajo cotidiano, la visión del territorio y la riqueza cultural que pretende como fin último cualquier trabajo de investigación. 

Literatura citada

- Arango, LA. 1999. Valoración económica de un recurso natural: el caso del humedal Juan Amarillo en Bogotá. Tesis de Maestría. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes.
- Arshad, MA; Cohen, GM. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:25 – 31.
- Barzev, R. 2002. Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales de la Reserva del Hombre y la Biosfera de Río Plátano (en línea). Consultado en mayo 2009. Disponible en <http://www.biomeso.net/grafdocto/valoracion.pdf>
- Berry, EC. 1994. Earthworms and other fauna in the soil. In Hatfield, JL; Steward, BA. (Ed.). *Soil biology: effects on soil quality*. Boca Raton, FL, Lewis Publishers.
- CARDER - FONADE (Ministerio del Medio Ambiente). 2007. Convenio No. 1068. Ecorregión EJE CAFETERO: Un Territorio de Oportunidades. Proyecto: «Construcción de un Ordenamiento Territorial para el Desarrollo Sostenible en la Ecorregión del Eje Cafetero. Colombia
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 1994. Economía y ecología: dos ciencias y una responsabilidad frente a la naturaleza.
- Constanza, R; Comberland, J; Daly, H; Goodland, R; Norgaard, R. 1999. Una introducción a la economía ecológica. México, Compañía Editorial Continental.
- Franzluebbers, AJ; Langdale, GW; Schomberg, HH. 1999. Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Science Society of America Journal* 63:349-355.
- Franzluebbers, AJ; Arshad, MA. 1997. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture *Soil Science Society of America Journal* 61:1382-1386.
- Karlen, DL; Mausbach, MJ; Doran, JW; Cline, RG; Harris, RF; Schuman, GE. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61:4-10.
- Kennedy, AC; Papendick, RI. 1995. Microbial characteristics of soil quality. *Journal of soil and water conservation*. 50:243-248.
- Medellín, H. 2002. Valoración económica ambiental de páramos: la valoración económica como herramienta de gestión ambiental. Primer Congreso Mundial de Páramos. Tomo1. Simposio Contabilidad y Servicios Ambientales. [13 al 18 de mayo del 2001, Paipa, Colombia]. Disponible en <http://www.lablaa.org/blaavirtual/geografia/congresoparamo/valoracion.pdf>
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC.
- Quezada, VO. 2003. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de las praderas altoandinas en el Perú: políticas para el manejo sostenible. III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas [9 al 13 de junio del 2003, Arequipa, Perú].
- Singer, MJ; Ewing, S. 2000. Soil quality. In *Handbook of soil science*. Chapter 11. Boca Raton, FL, CRC Press. p. 271-298.
- Stork, NE; Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7(1-2):23-32
- Stenberg, B. 1999. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. *Acta Agric.Scand. (sect B) Soil and Plants Sci.* 49:1-24.
- Visser, S; Parkinson, D. 1992. Soil biological criteria as indicators of soil quality: Soil microorganisms. *Am. J. Alternat Agric.* 7(1/2):33-37.

Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia

Jose Alexander Rodríguez¹;
Juan Carlos Camargo García²

La variable pérdida de suelo parece ser eficiente para medir los efectos de determinados usos sobre el suelo en el periodo evaluado. Para la variable escorrentía hasta el momento no se observan cambios importantes entre tratamientos; posiblemente sea necesario hacer evaluaciones en etapas más tardías del proyecto para identificar posibles diferencias o efectos de los tratamientos sobre esta variable. Ambas variables pueden ser útiles para la toma de decisiones sobre el establecimiento de estrategias para restaurar áreas degradadas y también como evidencia de cuáles coberturas pueden generar efectos negativos y positivos sobre el suelo.



Foto: José Alexander Rodríguez.

¹ Estudiante M.Sc. Ecotecnología. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira Investigador CIEBREG. pauloalejo@yahoo.com. AA097. 3426743.

² Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. Investigador CIEBREG. jupipe@utp.edu.co. AA097. 3137208.

Resumen

La erosión hídrica (pérdida de suelo) y la escorrentía fueron evaluadas como posibles indicadores del efecto a un año plazo de distintas coberturas sobre las características del suelo. La evaluación se realizó en Montenegro (Quindío, Colombia). Para tal fin, se estableció un experimento con un diseño de bloques completos al azar, cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron las coberturas del suelo, sucesión natural, plantación de árboles, plantación de guadua, cultivos limpios y pasturas (cobertura inicial), establecidas en parcelas de 108 m². Al final del periodo de evaluación (12 meses) se encontró que la pérdida de suelo fue significativamente más alta ($P < 0.05$) bajo cultivos limpios (0,59 t/ha), mientras que bajo la plantación de árboles maderables se presentó la pérdida menor (0,25 t/ha). Para la escorrentía se estimó un promedio de 1,25 m³/ha entre las coberturas evaluadas; no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos. Los resultados muestran que la erosión puede ser un indicador eficiente para detectar cambios tempranos en el suelo, asociados con la cobertura. Esta información resulta útil para promover prácticas asociadas al uso adecuado del recurso suelo.

Palabras claves: Escorrentía; erosión; conservación de suelos; restauración de suelos; análisis del suelo; sucesión natural; plantación de árboles; guadua; cultivos limpios; pastizales; mecanismos de desarrollo limpio; zona cafetera; Colombia.

Summary

Erosion and runoff: Indicators of soil early response to different covers in the Colombian coffee region.

Erosion (soil loss) and runoff were experimentally measured to determine early changes on soils under different land covers. The experiment was established in a cattle farm located in Montenegro (Quindío, Colombia). The experimental design consisted of randomised blocks with five treatments and three replications. Treatments corresponded to five soil covers: natural succession, timber tree plantation, guadua bamboo plantation, pastures, and crops (corn and beans) established on 108 m² plots. After twelve months of evaluation, erosion resulted significantly ($p < 0.05$) higher (0.59 t/ha) under crops; under guadua bamboo plantation the soil loss was the lowest (0.25 t/ha). The runoff showed similar and not significant ($p > 0.05$) values among the treatments evaluated (average of 1.25 m³/ha). Erosion seems to be an efficient indicator to early assess the effect of soil cover on soil loss. It can be useful for monitoring changes on soils in short periods and to provide information for making decisions on adequate soil uses.

Keywords: Runoff; erosion; soil conservation; soil improvement; soil analysis; natural succession; timber tree plantation; guadua; crops; pastures; clean development mechanism; coffee zone; Colombia.

Introducción

La degradación del suelo implica la pérdida de su capacidad productiva debido a la disminución de la fertilidad natural y el deterioro de las propiedades físicas. Este proceso se presenta en forma acelerada como consecuencia de prácticas inadecuadas dentro de los sistemas de producción agropecuaria, por lo que es necesario pro-

mover acciones que contribuyan al mejoramiento y conservación de los agroecosistemas (Harris et ál. 1996, Fao-Unesco 1998).

En la zona cafetera de Colombia, durante los últimos años se han dado cambios importantes en el uso de la tierra -especialmente hacia pasturas-, lo que ha implicado efectos negativos asociados con la compactación y la erosión del suelo (CARDER 2007).

Para disminuir tales efectos negativos, se emplean distintas acciones y prácticas; en la mayoría de los casos, se parte del aislamiento de algunas áreas para promover la sucesión natural (SER 2002), o acciones de reforestación con especies arbóreas. La introducción de especies arbóreas dentro de pasturas mejora las condiciones del suelo y del sistema en general (Russo 1990, Restrepo et ál. 2004, Viveros et

ál. 2003). Esta condición también se ha observado en la zona cafetera de Colombia (Camargo et ál. 2007, Calle 2003). Una especie frecuentemente usada en el eje cafetero es la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), un bambú leñoso que durante décadas ha sido usado comercial y artesanalmente (Londoño 1998, Camargo 2006). Debido a su rápido crecimiento y sistema de rizomas, esta especie ofrece ventajas en estrategias de restauración de áreas degradadas, como plantación, o como parte de obras biomecánicas (Camargo et ál. 2003, Castaño 2001, Rodríguez y Sepúlveda 2004, Ospina 2002). Algunos estudios en la zona cafetera demuestran que las propiedades físicas del suelo mejoran bajo rodales de guadua, y que tales mejoras se mantienen aun después de aprovechada la especie (Rodríguez y Sepúlveda 2004).

Con este trabajo se busca cuantificar la erosión y la escorrentía como variables para medir el efecto de la cobertura de la tierra en periodos cortos y dilucidar las mejores alternativas para promover el uso adecuado del recurso suelo entre productores e instituciones.

Características del área de estudio

El experimento se realizó en La Finca Nápoles, ubicada en el centro occidente del departamento del Quindío, municipio de Montenegro. El sitio se encuentra a 1100 msnm, con temperatura media de 24°C y 1600 mm de precipitación promedio anual. De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1996), la finca se encuentra dentro de la formación vegetal bosque húmedo premontano.

Los suelos del área se originaron, en su mayor parte, a partir de cenizas volcánicas depositadas sobre el abanico fluvio-volcánico Pereira-Armenia (Camargo et ál. 2001). En la finca, en particular, predominan suelos del orden andisol (Typic hapludands) pertenecientes a la asociación Tebaida

Alejadría. Estos suelos son profundos, bien drenados, con buena estructura y textura media, ligeramente ácidos y moderadamente susceptibles a la erosión. La finca tiene un área total de 228 ha de las cuales 40,5 ha se encuentran bajo pasturas, 88,4 ha bajo bosques dominados por guadua y el resto bajo cultivos como piña, cítricos y yuca (93,6 ha) (Gamboa y Solarte 2007). Aproximadamente 204 ha de la superficie del predio presentan una topografía suave con pendientes entre 10-25%; el área restante corresponde a valles profundos, con pendientes muy escarpadas que alcanzan el 100%.

Para la selección del sitio del experimento, se delimitaron todas las áreas bajo pasturas mediante fotointerpretación sobre una imagen Quick Bird con resolución de hasta 52 cm. Posteriormente, mediante la verificación en campo se identificó y se seleccionó un área de 0,5 ha de pendiente homogénea (36%) con evidencias de degradación del suelo (erosión y terracetos).

Diseño experimental

En el año 2005, se estableció un experimento con un diseño de bloques completos al azar. Se usaron parcelas de 9 x 12 m (108 m²) donde se aplicaron cinco tratamientos con tres repeticiones para un total de 15 parcelas. Los tratamientos fueron los siguientes:

- T1. Sucesión natural
- T2. Plantación de árboles maderables
- T3. Plantación de guadua
- T4. Cultivos limpios (maíz y frijol)
- T5. Pastura

Estos tratamientos fueron elegidos teniendo en cuenta los usos predominantes en la zona de estudio. La precipitación se midió mediante la instalación de un pluviómetro ubicado cerca del área del experimento. Durante el periodo de evaluación, se realizaron mediciones dos veces al día (6 am y 6 pm).

Manejo de los tratamientos

Las parcelas bajo el tratamiento de **sucesión natural** fueron aisladas con cercas de alambre de púa; la vegetación natural se dejó crecer sin restricciones.

En las parcelas bajo el tratamiento de **árboles maderables** se usaron tres especies arbóreas nativas: nogal cafetero (*Cordia alliodora*), dinde (*Chlorophora tinctoria*) y caracolí (*Anacardium excelsum*). Los plantones fueron plantados con un espaciamiento de 3 x 6 m, para un total de seis árboles por parcela (555 árboles por hectárea). Cada seis meses se realizó un mantenimiento: plateo (limpieza alrededor de cada árbol) a un diámetro de 1,5 m y aplicación de 250 g de fertilizante (NPK) por árbol.

En las parcelas bajo el tratamiento de **guadua** se establecieron seis plántulas por parcela con un espaciamiento de 3 x 6 m, para un total de 555 árboles por ha. Periódicamente, se realizó un plateo a alrededor de cada plántula y se aplicaron 250 g de fertilizante (NPK) por planta.

En las parcelas donde se aplicó el tratamiento de **cultivos limpios** (maíz y frijol), se eliminó manualmente la cobertura de pasto y el suelo se aflojó con un azadón. Posteriormente, se sembraron semillas de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) a distancias de 0,8 m entre hileras y 0,5 m entre plántulas. Como los periodos de cosecha de estas especies son de aproximadamente seis meses, se alternaron durante el periodo de evaluación.

El tratamiento con **pasturas** representa el estado inicial de la cobertura en el sitio. Para hacer una equivalencia a la carga animal usada, en las parcelas con este tratamiento se permitió el pastoreo de un animal joven (aproximadamente 140 kg) por tres días cada mes durante el tiempo de evaluación.

Mediciones y análisis de la información

La escorrentía y la erosión fueron las variables de respuesta usadas para comparar la eficiencia de los tratamientos en la protección del suelo. La primera se evaluó diariamente por un periodo de ocho meses y se midió en metros cúbicos por hectárea; la segunda se midió semanalmente durante 12 meses y se expresó en toneladas por hectárea. Todas las mediciones se empezaron a tomar un año después de haberse establecido los tratamientos.

En cada parcela se construyó un sistema de drenaje que recogiera en la parte inferior el agua y el suelo después de cualquier evento de lluvia (Foto 1). El agua y los sedimentos canalizados por el sistema de drenaje se depositaron en dos canecas colectoras de 140 L cada una, ubicadas de forma contigua, de manera que cuando la primera caneca se llena completamente, el agua y los sedimentos empiezan a pasar a la segunda (Foto 2). Así, fue posible efectuar mediciones sin pérdidas de agua ni de sedimentos ante probables eventos de precipitación de alta intensidad y duración. El suelo recolectado se llevó al laboratorio, donde se pesó y secó durante 24 horas a 105°C para obtener su masa (t/ha). El agua de escorrentía se midió en campo mediante un balde y una probeta y se expresó en litros.

Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, los valores totales de pérdida de suelo y escorrentía se compararon mediante análisis de varianza. Posteriormente, se realizaron comparaciones entre medias usando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95%. También se realizó un análisis de correlación entre las variables evaluadas, con el software SPSS 10 para Windows (Ferrán 2003).



Fotos: José Alexander Rodríguez.

Resultados y discusión

Pérdida de suelo

Después de un año de evaluación, la pérdida de suelo resultó significativamente mayor ($P < 0,05$) para el tratamiento de cultivos limpios (0,59 t/ha), seguido por sucesión natural (0,27 t/ha), árboles maderables (0,211 t/ha), pastura (0,214 t/ha) y plantaciones de guadua (0,249 t/ha) (Fig. 1). De acuerdo con los análisis, el único tratamiento que mostró ser estadísticamente diferente fue el de cultivos limpios ($p = 0,007$). Estos resultados evidencian que la eliminación de la cobertura total del suelo es un factor determinante para la erosión. Las otras coberturas evaluadas generan algún grado de protección y hacen menos severo el proceso de pérdida de suelo. Es factible que con el tiempo, se empiecen a observar cambios relacionados con las características específicas de cada cobertura.

A través del tiempo, la pérdida de suelo estuvo asociada a la precipitación; los valores más altos coincidieron con el mes de diciembre cuando se presentó la

mayor precipitación (Fig. 2). Esto se evidenció en los análisis de correlación que mostraron una relación significativa ($p < 0,05$) entre pluviosidad y pérdida de suelo ($p = 0,04$). Estos resultados muestran tendencias similares a las observadas por

Rodríguez y Sepúlveda (2004), quienes evaluaron la pérdida de suelo en un periodo de tiempo similar y bajo diferentes coberturas -entre ellas guadua y cultivos limpios. En ese estudio, el cultivo limpio perdió mayor cantidad de suelo (2,61 t/ha),

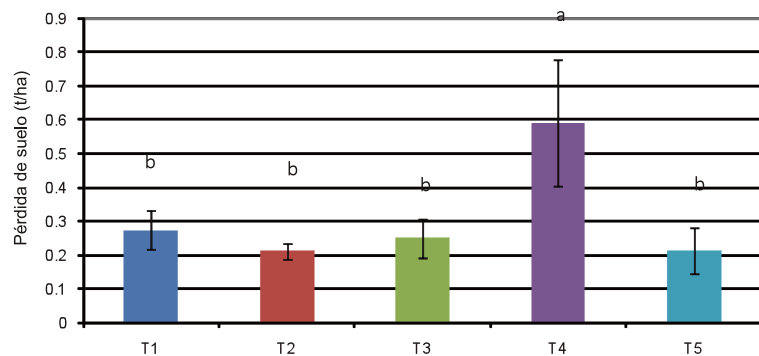


Figura 1. Promedio de pérdida de suelo durante un año en t/ha por tratamiento, Finca Nápoles, Quindío, Colombia

T1 = Sucesión natural
T2 = Plantación de árboles maderables
T3 = Plantación de guadua manejo
T4 = Cultivos limpios
T5 = pastura

Las líneas verticales sobre las barras representan la desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

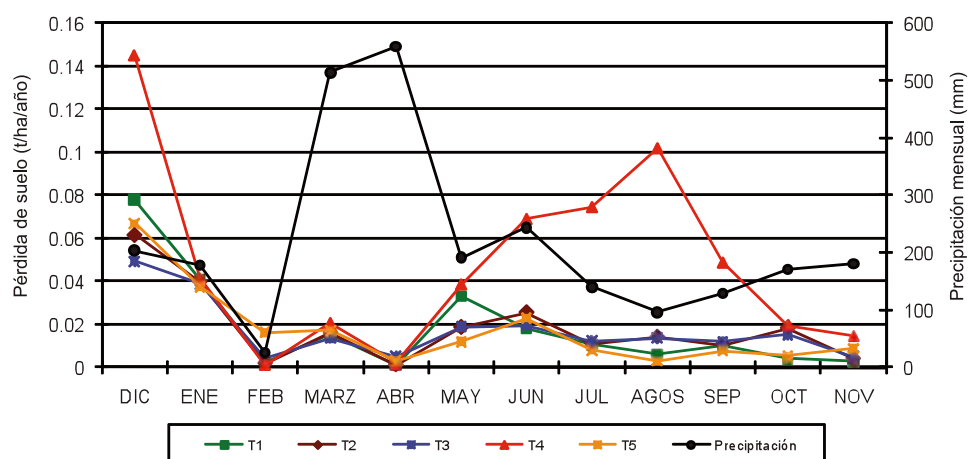


Figura 2. Pérdida mensual de suelo t/ha promedio por tratamiento durante un periodo de un año, Finca Nápoles, Quindío, Colombia

T1 = Sucesión natural
T2 = Plantación de árboles maderables
T3 = Plantación de guadua manejo
T4 = Cultivos limpios
T5 = pastura

Las líneas verticales representan la desviación estándar.

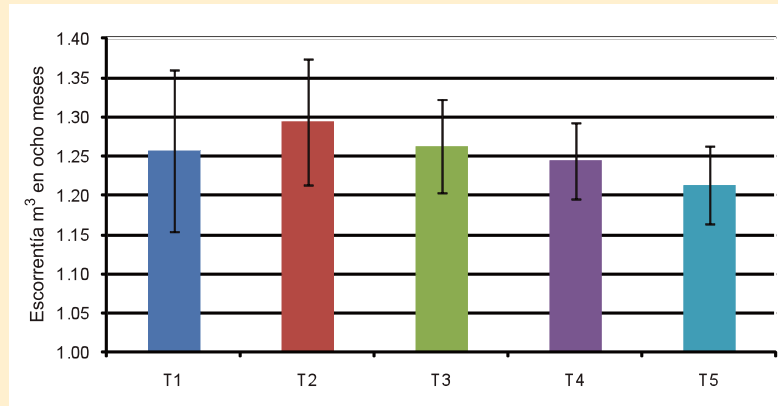


Figura 3. Promedio de escorrentía en m³/ha estimado por tratamiento durante un periodo de ocho meses, Finca Nápoles, Quindío, Colombia

T1 = Sucesión natural

T2 = Plantación de árboles maderables

T3 = Plantación de guadua manejo

T4 = Cultivos limpios

T5 = pastura

Las líneas verticales sobre las barras representan la desviación estándar.

tados obtenidos con los de otros estudios, debido a que las condiciones del área donde se estableció el experimento son particulares para cada caso. No obstante, se quiere resaltar la coincidencia cuando se mide la erosión bajo cultivos limpios -la más alta en todos los casos registrados, incluyendo este estudio.

Escorrentía

Durante el periodo analizado no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$) para esta variable. En todos los tratamientos se obtuvo un promedio de 1,25 m³/ha; el valor más alto se dio en el tratamiento de árboles maderables (1,29 m³/ha) (Fig. 3). Este resultado puede estar asociado a las buenas características físicas de los suelos predominantes en esta área: porosidad total alta y buena capacidad de infiltración; asimismo, la intensidad de los eventos de precipitación no suele ser alta, lo que facilita el proceso de infiltración.

Conclusiones

La variable pérdida de suelo parece ser eficiente para medir los efectos de determinados usos sobre el suelo en el periodo evaluado. La cobertura con guadua resulta, en promedio, la más eficiente en términos de protección del suelo, mientras que la eliminación de la cobertura (cultivos limpios) representa un gran aumento en la susceptibilidad a la erosión.

Para la variable escorrentía hasta el momento no se observan cambios importantes entre tratamientos; posiblemente sea necesario hacer evaluaciones en etapas más tardías del proyecto para identificar posibles diferencias o efectos de los tratamientos sobre esta variable. Las condiciones naturales de los suelos en el sitio del experimento parecen favorecer considerablemente la infiltración del agua, motivo por el cual el porcentaje de escorrentía resulta bajo con respecto a la precipitación (0,5%).



Parcelas con tratamiento de pasturas en Quindío, Colombia

en tanto que bajo guadua solamente se perdió 0,08 t/ha. De igual manera, estos valores de pérdida de suelo coinciden con investigaciones hechas por De León et ál. (1998), quienes hablan de una pérdida anual de 0,7 t/ha en áreas con pendientes entre 12-25%. Los resultados también son consistentes con los observados por Arsenault y Bonn (2005), Carmona

et ál. (2003), Obando (2000), Durán et ál. (2004) y Viveros et ál. (2003) quienes asocian la erosión con la intensidad de manejo que se le da al suelo: un manejo intensivo incrementa la degradación, lo cual se refleja en pérdida de productividad y de soporte para las plantas.

En este estudio no se pretende comparar directamente los resul-

El área experimental estuvo más de 100 años bajo cobertura de potreros; a pesar de esto, la variable pérdida de suelo muestra sensibilidad a corto plazo para determinar el efecto de la cobertura sobre el suelo, que para el caso de este estudio aún conserva buenas características.

Las variables pérdida de suelo y escorrentía pueden ser útiles también para la toma de decisiones sobre el establecimiento de estrategias para restaurar áreas degradadas y también como evidencia de cuáles coberturas pueden generar efectos negativos y positivos sobre el suelo.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó gracias al proyecto “Estrategias de conformación y fortalecimiento de empresas rurales, con base en la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en el eje Cafetero de Colombia” contrato No. 165-2004 financiado por COLCIENCIAS. Queremos agradecer al señor Eduardo Marulanda propietario de la Finca Nápoles, Montenegro Quindío, quien facilitó el área para la realización de este trabajo y co-financió a través de la empresa Bambú de Colombia el mencionado proyecto. Agradecemos también a la Universidad Tecnológica de Pereira, que contribuyó en forma importante con apoyo logístico y financiero. Un agradecimiento muy especial a nuestra compañera y amiga Carolina Larrarte Plata, Q.E.P.D., quien falleció durante la ejecución del proyecto. Durante la fase de esta investigación también fue importante el apoyo del Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG, en la marco del proyecto “Valoración de los Bienes y Servicios de la Biodiversidad para el Desarrollo Sostenible de Paisajes Rurales Colombianos: Complejo Ecorregional Andes del Norte”.

Literatura citada

- Arsenault, A; Bonn, f. 2005. Evaluation of soil erosion protective cover by crop residues using vegetation indices and spectral mixture analysis of multispectral and hyperspectral data. *Catena* 62(2005): 157-172.
- Calle, Z. 2003. Restauración de suelos y vegetación nativa: ideas para una ganadería andina sostenible. Cali, Colombia, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Cipav).
- Camargo, JC. 2006. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region of Colombia. PhD. Thesis. Göttingen, Deutschland, Göttingen University.
- Camargo, JC; Dossman, MA; Cardona, G. 2001. Estudio semidetallado de suelos del Departamento del Quindío. Montenegro, Quindío, Corporación Regional del Quindío, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Camargo, JC; Gaviria, J; Cardona, G. 2007. Sistemas silvopastoriles con árboles maderables dentro de pasturas: Estrategias para su establecimiento. Pereira, Colombia, Postgraph. 84 p.
- Camargo, JC; Morales, T; García, JH; Giraldo, L. 2003. Informe anual técnico-financiero proyecto: Dinámica poblacional de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) bajo diferentes condiciones de sitio y de manejo silvicultural en el eje cafetero de Colombia. Pereira (Risaralda), Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira.
- CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda). 2007. Situación de los recursos naturales y el medio ambiente en Risaralda. Pereira, Colombia. 98 p.
- Carmona, P; Isaza, J; Obando, F. 2003. Erosividad de lluvias y erodabilidad de un andisol en la zona andina central de Colombia. *Revista Suelos Ecuatoriales* 33(2): 87-94.
- Castaño, F. 2001. Definición técnica de un régimen de aprovechamiento de bosques de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) y su incidencia en la sostenibilidad, sanidad y rentabilidad del recurso. Experiencias en la provincia del Valle del Cauca, Colombia y provincia de Guayaquil, Ecuador. Cali, Colombia, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Agencia Internacional para el Desarrollo (AID-INFORDE).
- De León, GF; Payán, ZF; Sánchez, SR. 1998. Identificación of soil compacted layers using a cone digital penetrometer. *Terra Latinoamericana* 16(4): 303-307.
- Durán, VH; Francia, JR; Martínez, A. 2004. Impact of vegetative cover on runoff and soil erosion at hillslope scale in Lanjaron, Spain. *The environmentalist* 24(1): 39-48.
- FAO – Unesco. 1998. Vigilancia de los recursos de tierra y agua dulce: calidad y utilización. Roma, Italia, Comité de Agricultura.
- Ferrán, AM. 2003. SPSS para Windows, Análisis Estadístico. Madrid, España, McGraw-Hill.
- Gamboa, RD; Solarte, JG. 2007. Tipificación de sistemas agroforestales de dos fincas de la parte baja de la cuenca de río La Vieja –municipios de Montenegro y Quimbaya, Departamento del Quindío. Trabajo de Grado Ingeniería Agroforestal. Montenegro y Quimbaya (Quindío), Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 46 p.
- Harris, JA; Birch, P; Palmer, JP. 1996. Land restoration and reclamation: Principles and practice. Londres, Inglaterra, Longman.
- Holdridge, L. 1996. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Londoño, X. 1998. Evaluation of bamboo resources in Latin America. Montenegro (Quindío), Colombia. International Network for Bamboo and Rattan. Final report. No. 96-8300-01-4.
- Obando, FH. 2000. Methods to quantify the impacts of water erosion on productivity of tropical soils. *Revista Suelos Ecuatoriales* 30(1): 67-75.
- Ospina, RM. 2002. Factores que determinan las características florísticas y estructurales de los fragmentos dominados por *Guadua angustifolia* Kunt en el eje cafetero colombiano y su relación con el aprovechamiento de guadua. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Restrepo, C; Ibrahim, M; Harvey, CA; Harmand, JM; Morales, J. 2004. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 11 (41-42): 29-36.
- Rodríguez, JA; Sepúlveda, IC. 2004. Beneficios ambientales en la disminución de la erosión y la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos bajo rodales de guadua en el Eje Cafetero Colombiano. Trabajo de grado. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales.
- Russo, RO. 1990. Evaluating *Alnus acuminata* as a component in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 10: 241-252.
- SER (Society for Ecological Restoration). 2002. Ponencia introductoria sobre la restauración ecológica. Disponible en www.ser.org.
- Viveros, R; Jaramillo, ARA; Amézquita, E. 2003. Evaluación del impacto del manejo físico de los suelos en un vertisol bajo uso intensivo del CIAT. *Revista Suelos Ecuatoriales* 33(2): 105-113.

Estimación de biomasa aérea y desarrollo de modelos alométricos para *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles de alta densidad en el valle del Cauca, Colombia

Ligia María Arias-Giraldo¹;
Juan Carlos Camargo²;
Miguel Angel Dossman³;
Mauricio Alejandro Echeverry⁴;
José Alexander Rodríguez⁵;
Carlos Hernando Molina⁶;
Enrique José Molina⁶;
Iván Darío Melo⁷

Los SSP son una alternativa económica importante para los productores de la región del Eje Cafetero colombiano; su alta capacidad de almacenamiento de CO₂ puede considerarse como una ganancia adicional. La presencia de leucaena en los SSP no solo representa un mayor contenido de CO₂ en el sistema, sino que afecta positivamente las pasturas que, junto con leucaena, almacenan más carbono.

Es factible predecir con una adecuada precisión la biomasa y el volumen de leucaena, usando como variable independiente el d₃₀. Estos modelos pueden contribuir notablemente en el monitoreo del carbono aéreo de leucaena.



Foto: Grupo Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos.

¹ Investigadora. CIEBREG, Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. larias@utp.edu.co
² Profesor Asociado. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. jupipe@utp.edu.co
³ Investigador CIEBREG. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. mdossman@utp.edu.co
⁴ Coordinador Unidad SIG CIEBREG. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. mauroe@utp.edu.co
⁵ Investigador Grupo Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Universidad Tecnológica de Pereira. pauloalejo@yahoo.com
⁶ Investigador asociado. CIPAV, Cali, Colombia. chmolina@cipav.org.co
⁷ CIPAV, Cali, Colombia.

Resumen

La biomasa aérea y el carbono contenido en la misma fueron estimados dentro de sistemas silvopastoriles (SSP) con *Leucaena leucocephala* (leucaena) establecida entre dos y 14 años en la Reserva Natural El Hatico, municipio de El Cerrito, Valle del Cauca (Colombia). Las estimaciones se realizaron para la especie arbórea y las pasturas; adicionalmente se evaluó el carbono orgánico del suelo hasta 0,5 m de profundidad. Las mediciones se realizaron dentro de los SSP, tomando en cuenta el tiempo de establecimiento, y se compararon con pasturas sin árboles, tanto en la época seca como de lluvias. Se utilizó un muestreo anidado con parcelas rectangulares de 60 m x 30 m (1800 m²), dentro de las cuales se localizaron tres subparcelas circulares de 177 m² para la evaluación del carbono en el suelo y, dentro de estas, tres de 50 m² para la evaluación de biomasa y variables dendrométricas de la leucaena para el ajuste de modelos alométricos. Se encontraron contenidos de dióxido de carbono total (biomasa aérea y suelo) que van desde 369,44 t/ha para SSP con ocho años de establecidos hasta 724,38 t/ha en los sistemas con dos años de establecimiento (584,14 t/ha en sistemas de 14 años). En promedio, la biomasa aérea de leucaena contiene el 1,7% del carbono total, las pasturas el 3,6% y el suelo el 94,6% del total. Las pasturas bajo los SSP tienen un mayor contenido de biomasa y carbono que las pasturas sin árboles (22,72 t CO₂/ha vs. 11,71 t CO₂/ha). De los ocho modelos alométricos evaluados, el que usó la variable diámetro a 30 cm de altura (d_{30}) mostró la mejor respuesta y permite hacer una estimación de la biomasa aérea de leucaena con una precisión adecuada (R^2_{adj} = 0,83; RCME= 266,5). Los resultados permiten evidenciar que los SSP con leucaena cumplen un papel muy importante como sumideros de carbono hasta los cinco años; después de los 11 años el incremento es menor.

Palabras claves: *Leucaena leucocephala*; sistemas silvopastoriles; biomasa aérea; carbono; carbono orgánico del suelo; modelos alométricos; análisis de regresión; Valle del Cauca, Colombia.

Summary

Aboveground biomass estimates and allometric models for *Leucaena leucocephala* in high density silvopastoral systems in Valle del Cauca, Colombia.

In the Natural Reserve of El Hatico, municipality of Cerrito (Valle del Cauca, southwest Colombia), the aboveground biomass and carbon content were estimated in silvopastoral systems (SPS) with *Leucaena leucocephala* (leucaena) established between 2 and 14 years earlier, and in treeless pastures. Additionally, soil carbon was also measured at 0,5 m depth. The time after establishment and climate conditions (rainy and dry season) were considered as comparison factors. A nested sampling design was used; plots of 60 m x 30 m (1800 m²) with three circular subplots of 177 m² for soil carbon and inside sub-subplots of 50 m² for measuring biomass and dendrometric variables (to fit allometric models) were established. Total carbon dioxide content (biomass and soil) ranged from 369,44 t/ha in 8-year-SPS to 724,38 t/ha in 2-year-SPS (584,14 t/ha in 14-year-SPS). The soil carbon content represented 94.6% of total amount, while pastures and leucaena biomass represented 3,6% and 1,7%, respectively. Both biomass content and carbon sink are higher in pastures with trees than in treeless pastures (22,72 t CO₂/ha vs. 11,71 t CO₂/ha, respectively). From the eight allometric models evaluated, the best response was obtained with the one that used d_{30} as an independent variable; this model allows for proper biomass estimates (R^2_{adj} = 0,83; RMSE= 266,5). The obtained results showed that SPS are better than pastures as carbon sinks with an incremental tendency up to five years of establishment; after that, the increment rate is lower.

Keywords: *Leucaena leucocephala*; silvopastoral systems; aerial biomass; carbon: soil organic carbon; allometric models; regression analysis; Valle del Cauca, Colombia.

Introducción

Durante los últimos años en la zona cafetera de Colombia se han dado cambios importantes en la cobertura de la tierra. Actualmente, la ganadería ocupa cerca del 40% del área total y, de hecho, es el uso de la tierra más abundante (Murgueitio 2003). Estos cambios han ocasionado efectos negativos en los suelos, la biodiversidad, e incluso en las condiciones económicas de los productores (Murgueitio et al. 2003). No obstante, diferentes proyectos ejecutados en la región cafetera han enfatizado sus acciones en la reconversión de la ganadería; tal es el caso del Proyecto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas” desarrollado en Colombia por el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Cipav). Otras acciones y proyectos son promovidos por instituciones como la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) y el Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIEBREG).

Este proceso busca, en esencia, cambiar la forma de hacer ganadería hacia un modelo ambientalmente más viable, que mantenga una productividad adecuada con prácticas que no degraden los recursos naturales. Para ello se requiere de una adecuada planificación de las fincas que incluye la eliminación de potreros en sitios de alta fragilidad (p.e. pendiente alta, orillas de ríos y quebradas), el manejo adecuado de la carga animal y la incorporación de especies leñosas a los potreros para la conformación de sistemas silvopastoriles (SSP). Así, se han promovido distintos arreglos como cercas vivas, árboles dispersos y sistemas de alta densidad con *Leucaena leucocephala* (leucaena). Este último es uno de los arreglos más comu-

nes que se ha implementado como parte de las estrategias de reconversión ganadera en la región del Eje Cafetero de Colombia debido a su capacidad nutricional, fijación de nitrógeno, crecimiento y adaptación al ramoneo (Shelton 1996 citado por Murgueitio e Ibrahim 2008). También se han implementado otros SSP con *Tithonia diversifolia* (botón de oro) y bancos de proteína con *Gliricidia sepium* (matarratón), *Trichanthera gigantea* (nacedero), *Morus alba* (morera) y *Boehmeria nivea* (ramio) (Murgueitio y Galindo 2008). Estos SSP han tenido buena acogida en la cuenca del río La Vieja, lo que ha permitido incrementar la productividad en términos de carne y leche y mejorar las condiciones ambientales, en relación con las pasturas sin árboles (Cardona y Suárez 1996, Calle et al. 2002, Calle 2003).

Con el propósito de evaluar el efecto benéfico que pueden tener estos SSP como sumideros de carbono, se eligió un sitio de referencia donde se encuentran SSP de entre dos y 14 años de establecidos (en el año 2007 cuando se realizaron los muestreos de campo). Los objetivos del estudio fueron: (i) cuantificar y comparar el contenido de biomasa y carbono; (ii) identificar cambios en la biomasa asociados al tiempo de establecimiento; (iii) desarrollar modelos alométricos para la estimación de biomasa y volumen de la leucaena.

Área de estudio

El estudio se realizó en la Reserva Natural El Hatillo, municipio de El Cerrito, Valle del Cauca; a una altura de 1000 msnm y precipitación promedio anual de 750 mm con dos periodos más lluviosos en los meses de marzo-mayo y octubre-noviembre. La temperatura promedio es de 24°C y la humedad relativa media es del 75%. En la evaluación se incluyeron nueve sitios de SSP de leucaena con

una densidad promedio de 10.000 árboles/ha y entre dos y 14 años de establecimiento. También se incluyó un sitio con pasturas sin árboles destinado a ganadería de leche y toros de lidia, con más de 20 años de establecido. Los tipos de pasturas presentes en los sitios son estrella (*Cynodon plectostachyus* Vandyerst) y guinea tanzania y mombasa (*Panicum maximum*) (Fig. 1 y Cuadro 1).

Diseño muestral

Para la cuantificación de la biomasa y el carbono se realizaron dos muestreos: uno en la época seca (21-23 de marzo 2007) y otro en la lluviosa (14-15 de junio 2007). Se utilizó un muestreo anidado con parcelas rectangulares de 60 m x 30 m (1800 m²) siguiendo la orientación de las hileras de leucaena. En cada parcela se localizaron tres subparcelas circulares de 177 m² para la evaluación del carbono en el suelo y dentro de estas tres subparcelas de 50 m² para la evaluación de biomasa y variables dendrométricas de leucaena para el ajuste de modelos alométricos. El muestreo incluyó la evaluación de los compartimientos de biomasa aérea de leucaena (tronco, ramas y hojas), pasturas y suelo.

El muestreo de suelo se realizó hasta 50 cm de profundidad, tomando muestras disturbadas en cada sitio para medir el contenido de materia orgánica, y muestras no disturbadas en cilindros de volumen conocido para determinar su densidad aparente. La materia orgánica se midió en el laboratorio de suelos mediante el método Walkley-Black (MacDicken 1997). Dentro de las parcelas circulares pequeñas (8 m de diámetro) se seleccionó al azar una planta de leucaena a la cual se midió el diámetro a 30 cm de altura (d_{30})⁸ sobre el suelo y su altura total. Para las pasturas se realizó el muestreo con un marco de 0,25 m² en tres puntos al azar dentro

⁸ La medida del diámetro a 30 cm sobre el suelo se hace teniendo en cuenta que, en promedio, la altura de la leucaena es de 147,6 ± 7,8 cm, por lo que no es adecuado usar variables como el diámetro a la altura del pecho (dap).

de cada parcela circular; además, se midió la altura de la pastura en cada uno de los tres puntos.

Mediante un muestreo destructivo se determinaron los pesos húmedos en campo de tronco, ramas y hojas de leucaena y de la biomasa correspondiente al marco de 0,25 m² en los tres puntos. De cada uno de los tres compartimientos de leucaena y de la pastura se tomaron submuestras de 250 g, las cuales fueron llevadas a laboratorio y secadas en horno a 60°C durante 48 horas. A partir de los pesos iniciales y los pesos secos hallados se estimó la biomasa y el carbono; mediante un factor de conversión de 3,67 (Márquez et ál 2000) se calculó el contenido de dióxido de carbono (CO₂) en cada compartimiento, el total por leucaena y en la pastura. Posteriormente, de acuerdo con la densidad de plantas de leucaena por hectárea y al área para las pasturas se extrapolaron los valores de CO₂.

Análisis

Se realizaron comparaciones de la biomasa y el contenido de CO₂ entre los SSP de distintas edades y las pasturas, teniendo en cuenta la época (seca y lluviosa). Como los sistemas se eligieron de forma sesgada, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para determinar diferencias estadísticamente significativas entre sitios y épocas. Los análisis se realizaron usando el software SPSS 10.0 para Windows (SPSS 1999).

Ajuste de modelos alométricos

Teniendo en cuenta las variables dendrométricas que se midieron en las plantas de leucaena (d₃₀ y altura), se evaluaron distintos modelos encontrados en la literatura para la estimación de biomasa y volumen y se probaron algunas funciones lineales usando las dos variables. La evaluación se realizó mediante técnicas

de regresión; los modelos con mayor precisión se seleccionaron teniendo en cuenta estadísticos como el error medio cuadrado (EMC), el sesgo y el coeficiente de determinación ajustado R²_{adj}. Para los análisis se utilizó el software SAS (1999).

Resultados y discusión

Estimación de la biomasa, carbono aéreo y carbono edáfico
La cantidad de biomasa -y por lo tanto, el contenido de CO₂- no mostró diferencias significativas entre y dentro de los sitios ni épocas de mues-

treo (p>0,05). En la época seca se encontró en promedio 5,38 ± 0,61 t/ha⁹ de biomasa seca y 5,77 ± 0,55 t/ha en la época lluviosa, equivalentes a 9,87 ± 1,12 t CO₂/ha y 10,59 t ± 1,01 CO₂/ha respectivamente. El compartimiento con mayor contenido de biomasa fue el tronco, seguido por las ramas y hojas. Las pasturas presentaron contenidos de biomasa de 11,45 ± 0,68 t/ha equivalentes a 21,01 ± 1,24 t CO₂/ha en la época seca y 11,90 ± 1,27 t/ha equivalentes a 21,83 ± 2,34 t CO₂/ha en la lluviosa. Estos valores de almacenamiento de carbono

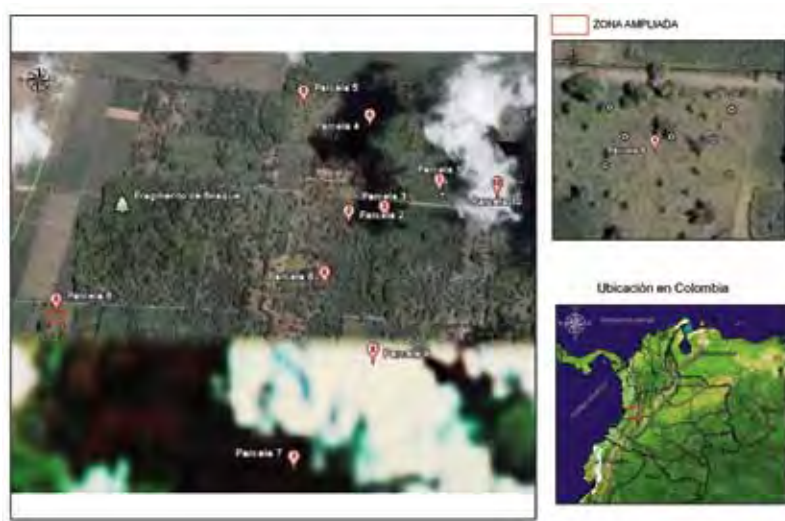


Figura 1. Ubicación y parcelas de muestreo para biomasa y carbono en sistemas silvopastoriles. Reserva Natural El Hatico, Colombia

Cuadro 1. Sitios de muestreo de sistemas silvopastoriles con leucaena, Reserva Natural El Hatico, Colombia

Sitio	Tiempo de establecido (años)	Tipo de pastura
Ceros	2	Estrella - guinea tanzania
Paramonte	4	Estrella - guinea tanzania
Crías	5	Guinea mombasa
Palmas	7	Estrella - guinea tanzania
Eles	8	Estrella
Burras	9	Estrella
Balastrea	11	Estrella
Mamoncillo	13	Estrella
Chiminangos	14	Estrella
Pastura sin árboles	Más de 20	Estrella

⁹ E.S. = Error estándar de la muestra

son superiores a los encontrados en pasturas de sistemas silvopastoriles en Costa Rica: 8,99 t CO₂/ha para *B. brizantha* con eucalipto y 7,87 t CO₂/ha para *B. brizantha* con *A. mangium* (Ávila 2000). Los resultados de biomasa y carbono aéreo concuerdan con los encontrados por Ávila et ál. (2001) en sistemas agroforestales de café–*Eucalyptus deglupta*, donde se encontraron contenidos de carbono en la parte aérea entre 10,6 t C/ha y 12,6 t C/ha. En SSP de *B. brizantha* con *A. mangium* y *B. brizantha* con *E. deglupta* se obtuvieron almacenamientos de 8,90 t C/ha y 7,48 t C/ha respectivamente (Ávila 2000); superiores a los encontrados por Andrade (1999) en SSP de brachiaria con acacia y eucalipto: 3,7 t C/ha y 4,7 t C/ha.

El suelo es el componente del sistema que más tiene almacenado CO₂: 555,43 ± 26,73 t/ha en la época seca y 559,27 ± 29,11 t/ha en la lluviosa. Estas cifras son superiores a las encontradas en zonas del Eje Cafetero colombiano en suelos bajo sistemas silvopastoriles con leucaena de menos de tres años de establecimiento: entre 255,9 y 495,2 t CO₂/ha (Arias-Giraldo et ál. *En preparación*). El contenido promedio total en los SSP fue de 580,84 t ± 44,11 CO₂/ha en la época seca y 566,90 ± 57,48 t CO₂/ha en la lluviosa; no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre épocas. Dichos contenidos se encuentran dentro del rango encontrado en sistemas agroforestales de café con *E. deglupta* y *Erythrina poeppigiana* en Costa Rica, donde se reportan valores entre 120,92 y 195 t C/ha (Ávila 2000). En general, se observa que los valores de biomasa y carbono no se ven afectados por los cambios en precipitación.

Al comparar la biomasa y el contenido de carbono aéreo y en el suelo entre sitios, las diferencias fueron estadísticamente significativas ($P < 0,05$). La biomasa aérea de leucaena tiende a aumentar significativamente hasta los cinco años, para

luego estabilizarse aunque existe una variabilidad muy alta. El valor promedio más alto se observó a los 11 años con 8,52 ± 2,43 t/ha de biomasa que equivalen a 15,63 ± 4,46 t CO₂/ha; esto probablemente tiene que ver con el mayor diámetro promedio de los individuos de leucaena en este sitio ($d_{30} = 5,38$ cm). Los SSP con mayor tiempo de establecimiento (14 años) tuvieron valores en biomasa que no difieren estadísticamente de los recién establecidos (dos años), lo que se asocia a la alta variabilidad encontrada en los datos de los sistemas más viejos (Fig. 2).

Con respecto a la biomasa y al contenido de CO₂ en las pasturas, el valor significativamente ($p < 0,05$) más bajo se encontró en pasturas sin árboles: 6,38 ± 0,35 t/ha de biomasa seca equivalentes a 11,71 ± 0,63 t CO₂/ha. Sin embargo, estos valores son superiores a los encontrados por Ávila (2000) en pasturas de *B. brizantha* sin árboles: 2,04 t C/ha equivalentes a 7,49 t CO₂/ha. Los valores promedio más altos se obtuvieron en los SSP de 4 y 11 años: 17,45 ± 4,67 t/ha de biomasa seca equivalentes a 32,03 ± 8,57 t CO₂/ha

y 16,21 ± 1,61 t/ha de biomasa seca equivalentes a 29,74 ± 2,96 t CO₂/ha respectivamente. Para pasturas bajo sistemas silvopastoriles en Costa Rica se reportaron valores entre 1,28 t CO₂/ha y 8,99 t CO₂/ha (Andrade 1999, Ávila 2000). En nuestro estudio no se observa ninguna tendencia en especial; no obstante, se destaca que el SSP de 11 años mostró nuevamente uno de los valores más altos de biomasa (Fig. 3). También, es importante anotar que los tipos de pasturas y arreglos evaluados (estrella-guinea tanzania; estrella; guinea mombasa) no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en los contenidos de biomasa y carbono.

El suelo es el componente que más carbono puede almacenar en el sistema; sin embargo el contenido no mostró relación con el tiempo de establecimiento del SSP (Fig. 4), a pesar de que se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los sitios para esta variable. El valor más alto se obtuvo en el SSP de dos años: 698,11 ± 27,98 t CO₂/ha, y el más bajo en el sistema de ocho años: 333,65 ± 29,71 t CO₂/ha.

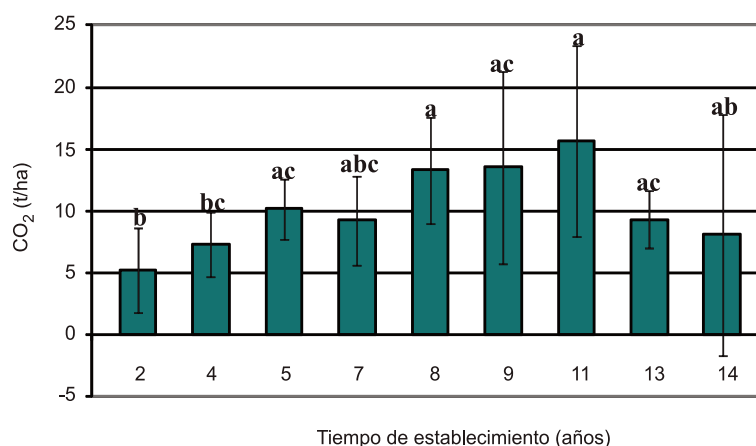


Figura 2. Contenidos de CO₂ (t/ha) en la biomasa aérea de leucaena en sistemas silvopastoriles con diferentes tiempos de establecimiento. Reserva Natural El Hatco, Colombia

Líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$).

Modelos alométricos para la estimación de biomasa y volumen de leucaena

Las variables dendrométricas de leucaena mostraron que en promedio un tronco tiene $3,34 \pm 0,16$ cm de diámetro a los 30 cm de altura (d_{30}), $147,5 \pm 7,79$ cm de altura total y $1,387 \pm 172$ cm³ de volumen. Los valores por sitio pueden observarse en el Cuadro 2.

De los modelos alométricos probados para la estimación de la biomasa aérea de la leucaena, el que mejor se ajusta según los estadísticos evaluados es el modelo (5) ($RCME = \pm 266,5$ g; $R^2_{adj} = 0,83$); su aplicación permite predecir la biomasa a partir del logaritmo natural en base “e” del d_{30} (Cuadro 3). Este resultado es consistente con modelos de biomasa ajustados para especies como *Acacia harpophylla*, los cuales mostraron $R^2 = 0,96$ (Eamus et ál. 2000). De acuerdo con el análisis de residuos, el modelo (5) brinda una estimación apropiada de la biomasa y no presenta problemas de sesgo ni homeostasis de la varianza (Fig. 5).

Para el volumen se probaron cerca de 15 modelos; sin embargo, solo se ofrecen los de mejor respuesta. Entre estos se destaca el modelo (2), que solo utiliza como variable independiente el d_{30} , lo que hace muy práctica su aplicación. Este modelo ha sido ajustado con éxito también para especies arbóreas latifoliadas como *Carpinus caroliniana*, *Carya ovata*, *Clethra pringleii* y *Quercus xalapensis* con coeficientes de determinación entre 0,97 y 0,99 (Rodríguez et ál. 2006). En el caso de leucaena, su estimación es adecuada de acuerdo con los estadísticos evaluados ($RCME = \pm 597,9$ cm³; $R^2_{adj} = 0,91$). Otros modelos mostraron también una buena respuesta, pero la mayoría de ellos involucran también la altura (Cuadro 4). En la Fig. 6 se puede ver, a partir del análisis de residuos, que el modelo (2) brinda una estimación apropiada de la biomasa y no presenta problemas de sesgo y homeostasis de la varianza.

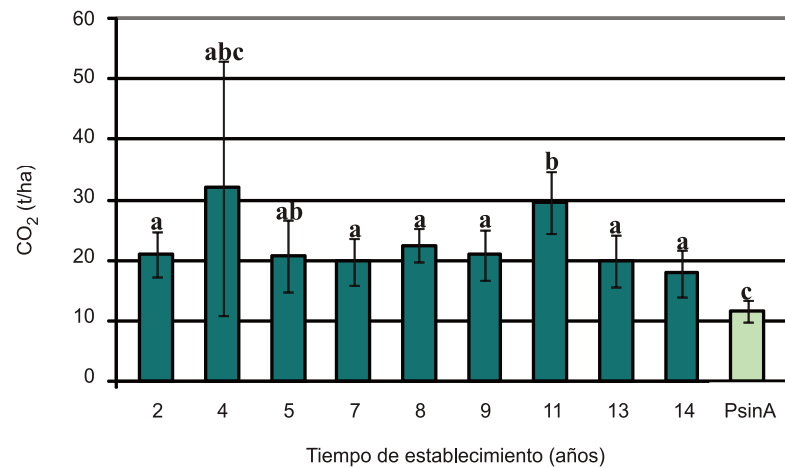


Figura 3. Contenidos de CO₂ (t/ha) en la biomasa aérea de las pasturas en sistemas silvopastoriles con diferentes tiempos de establecimiento y en pasturas sin árboles (PsinA). Reserva Natural El Hatiko, Colombia

Líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$).

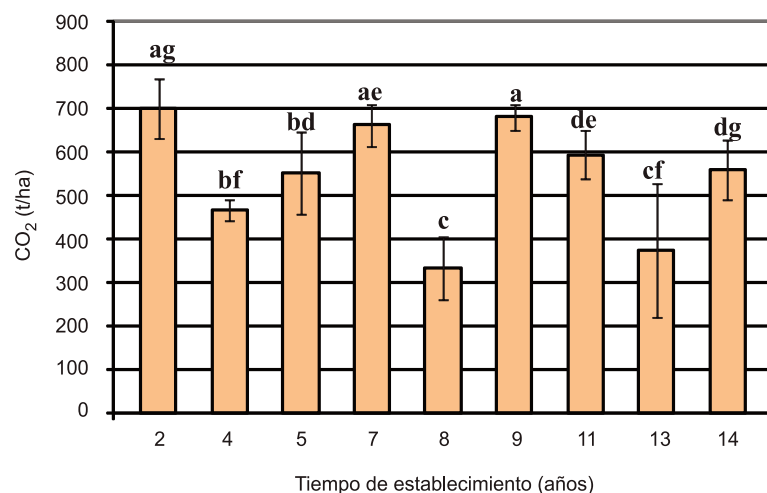


Figura 4. Contenido de CO₂ (t/ha) en el suelo a 50 cm de profundidad en sistemas silvopastoriles con diferentes tiempos de establecimiento. Reserva Natural El Hatiko, Colombia

Líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$).

Conclusiones y recomendaciones

Los SSP son una alternativa económica importante para los productores de la región del Eje Cafetero colombiano; su alta capacidad de

almacenamiento de CO₂ puede considerarse como una ganancia adicional. La presencia de leucaena en los SSP no solo representa un mayor contenido de CO₂ en el sistema, sino que afecta positivamente las

Cuadro 2. Variables dendrométricas medidas para los troncos de *Leucaena leucocephala*, Reserva Natural El Hatico, Colombia

Sitio	TE (años)	d ₃₀ (cm)	Variable	
			Altura (cm)	Volumen (cm³)
Ceros	2	2,29 ± 0,21	221,0 ± 16,2	996,2 ± 244,5
Paramonte	4	2,81 ± 0,17	150,8 ± 27,9	947,2 ± 192,8
Crías	5	3,21 ± 0,09	138,8 ± 10,0	1137,8 ± 120,2
Palmas	7	3,15 ± 0,24	168,3 ± 17,9	1367,5 ± 294,5
Eles	8	3,79 ± 0,19	126,0 ± 15,9	1457,3 ± 265,7
Burras	9	3,98 ± 0,62	101,1 ± 7,6	1360,5 ± 403,0
Balastrera	11	5,38 ± 1,96	119,0 ± 15,0	3889 ± 2910,7
Mamoncillo	13	4,03 ± 0,48	77,2 ± 3,7	1038,4 ± 266,8
Chiminangos	14	1,95 ± 0,48	155,7 ± 53,1	684,5 ± 480,3

TE= Tiempo de establecimiento

Cuadro 3. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de *Leucaena leucocephala*, Reserva Natural El Hatico, Colombia

Modelo*	RCME	R²	R² ajustado	Fuente
$e^B = -22,13 + 23,09 \cdot e^{(d_{30}^{0,89,41})}$	0,57	0,28	0,25	Ávila (2000)**
$B = 116,5 + 131,5 \cdot d_{30}$	269,57	0,28	0,27	Segura et ál. (2006)
$\log(B) = -0,97 + 1,27 \cdot \log(d_{30})$	0,20	0,47	0,46	
$\log(B) = -1,46 + 1,32 \cdot \log(d_{30}) + 0,22 \cdot \log(h)$	0,20	0,49	0,47	
$B = e^{(5,41 + 0,77 \cdot \ln d_{30})}$	266,53	0,83	0,83	Scanlan (1991)***
$\ln(B) = 4,68 + 1,27 \cdot \ln(d_{30})$	0,47	0,47	0,46	Harrington (1979)
$\ln(B) = 3,56 + 1,32 \cdot \ln(d_{30}) + 0,22 \cdot \ln(h)$	0,47	0,49	0,47	Saldarriaga et ál. (1988)
$\ln(B) = \ln 2,470 - 2,57 \cdot \ln(d_{30}) - 0,67 \cdot \ln(h) + 0,81 \cdot \ln(d_{30}) \cdot \ln(h)$	0,46	0,51	0,49	Fehrmann y Kleinn (2006)

*Todos los modelos presentan una $P < 0,0001$

**Se usó la variable d_{30} en vez de la altura

***Se usó la variable d_{30} en vez de la circunferencia a 30 cm

B = biomasa aérea total; d_{30} = diámetro a 30 cm de altura; h = altura total

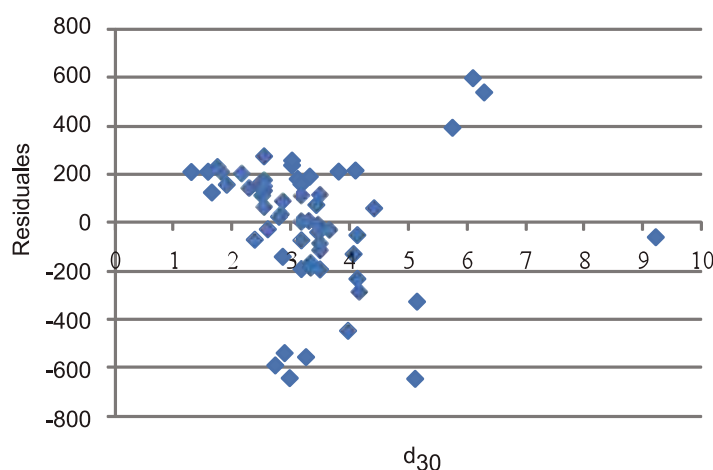


Figura 5. Distribución de los residuales de la biomasa con respecto a los valores del d_{30} . Reserva Natural El Hatico, Colombia

pasturas que, junto con leucaena, almacenan más carbono.

Es factible predecir con una adecuada precisión la biomasa y el volumen de leucaena, usando como variable independiente el d_{30} . Estos modelos pueden contribuir notablemente en el monitoreo del carbono aéreo de leucaena.

En los SSP más antiguos, sería importante introducir nuevas plantas ya que algunas se han deteriorado; esto activaría el sistema en términos de incremento de biomasa.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Reserva Natural El Hatico y al Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV); a Colciencias por la financiación del Proyecto “Valoración de los bienes y servicios de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales colombianos: Complejo Ecorregional Andes del Norte” desarrollado por el Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIEBREG); a la Universidad Tecnológica de Pereira por la cofinanciación del Proyecto; a John Heiber Ospina, Giovanni Grajales, Harold Cardona y Juan Carlos Botero, compañeros del Grupo de Investigación.

Literatura citada

- Andrade, HJ. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Arias-Giraldo, LM; Camargo, JC; Dossman, MA. *En preparación*. Almacenamiento de carbono en suelos bajo diferentes usos en la cuenca del río La Vieja, Colombia. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIEBREG).
- Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Ávila, G; Jiménez, F; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 32-35.

Calle, Z. 2003. Restauración de suelos y vegetación nativa: ideas para una ganadería andina sostenible. Cali, Colombia, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Cipav).

Calle, Z; Murgueitio, E; Calle, N. 2002. Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas: ganadería productiva y sostenible. Cali, Colombia, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Cipav).

Cardona, MC; Suárez, S. 1996. Utilización de leucaena en bancos de proteína y en asocio con gramíneas. Plan de modernización tecnológica de la ganadería bovina colombiana. Silvopastoreo: alternativa para mejorar la sostenibilidad y competitividad de la ganadería colombiana. Compilación de las Memorias de dos Seminarios Internacionales sobre Sistemas Silvopastoriles. Bogotá, Colombia, CORPOICA, Fedegan, Colciencias, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Dieguez, U; Barrio, M; Castedo, F; Ruiz, AD; Álvarez, MF; Álvarez, JG. 2003. Dendrometría. Madrid, España, Mundiprensa.

Eamus, D; McGuinness, K; Burrows, W. 2000. Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and Western Australia. Queensland, Australia, Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System. Technical Report N° 5A.

Fehrmann, L; Kleinn, C. 2006. General considerations about the use of allometric equations for biomass estimation on the example of Norway spruce in central Europe. *Forest Ecology and Management* 236:412-421.

Harrington, G. 1979. Estimation of above-ground biomass of trees and shrubs in a *Eucalyptus populnea* F. Muell. woodland by regression of mass on trunk diameter and plant height. *Australian Journal of Botany* 27:135-143.

MacDicken, KG. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VI, US, Winrock International Institute for Agricultural Development.

MacDicken, KG; Brewbaker, JL. 1988. Growth rates of five tropical leguminous fuel wood species. *Journal of Tropical Forest Science* 1(1):85-93.

Márquez, L; Roy, A; Castellanos, E. (Eds.). 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Guatemala, Fundación Solar.

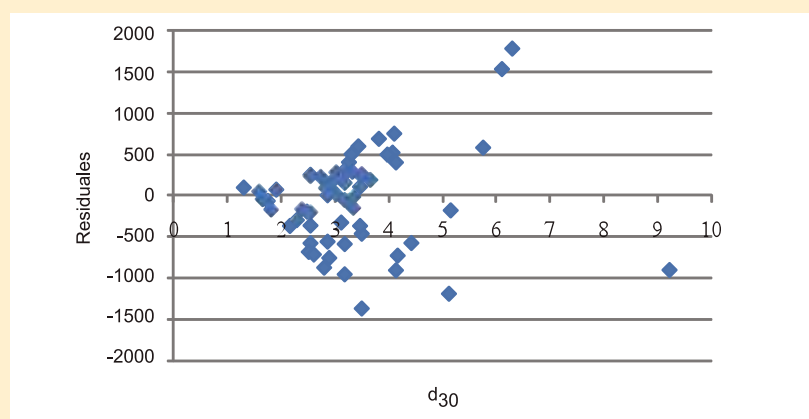


Figura 6. Distribución de los residuales del volumen con respecto a los valores del d_{30} . Reserva Natural El Hatico, Colombia

Cuadro 4. Modelos alométricos para la estimación del volumen de leucaena. Reserva Natural El Hatico, Colombia

Modelo*	RCME	R ²	R ² ajustado	Fuente
$V = 121,6 + 98,28 \cdot (d_{30})^2$	591,90	0,81	0,81	MacDicken y Brewbaker (1988)
$V = 105,6 \cdot (d_{30})^{1,99}$	597,89	0,91	0,91	Dieguez et ál. (2003)
$V = 0,71 \cdot (d_{30})^{2,01} \cdot h^{1,02}$	60,75	0,99	0,99	Harrington (1979)**
$\ln(V) = 4,92 + 1,78 \cdot \ln(d_{30}) + 1,01 \cdot \ln(h)$	0,06	0,99	0,99	Saldarriaga et ál. (1988)**
$\ln(V) = \ln(0,82 + 1,90 \cdot \ln(d_{30}) + 0,99 \cdot \ln(h) + 0,02 \cdot \ln(d_{30}) \cdot \ln(h))$	0,06	0,99	0,99	Fehrmann y Kleinn (2006)**

*Todos los modelos presentan una $P < 0,0001$; **Modelos usados en literatura para estimar biomasa; V = volumen total; d_{30} = diámetro a 30 cm de altura; h = altura total

Murgueitio, E. 2003. Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución (en línea). *Livestock Research for Rural Development* 15(10): Consultado 24 ene. 2005. Disponible en <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/10/murg1510.htm>.

Murgueitio, E; Galindo, W. 2008. Reconversión ambiental de fincas ganaderas en los andes centrales de Colombia. In Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, J. (Eds.). *Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo*. Cali, Colombia, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria.

Murgueitio, E; Ibrahim, M. 2008. Ganadería y medio ambiente en América Latina. In Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, J. (Eds.). *Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo*. Cali, Colombia, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria.

Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, CE; Casasola, F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas; guía para el pago de servicios ambientales en el Proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. Cali, Colombia, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria.

Rodríguez, R; Jiménez, J; Aguirre, O; Treviño, E. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *México, Universidad Autónoma de Nuevo León. Ciencia* IX(2):179-187.

Saldarriaga, JG; West, DC; Tharp, ML; Uhl, C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *The Journal of Ecology* 76(4):938-958.

SAS Institute. 1999. SAS/STAT User's guide, Release 8.0 Edn. Cary, NC, US.

Scanlan, JC. 1991. Woody overstorey and herbaceous understorey biomass in *Acacia harpophylla* (brigalow) woodlands. *Australian Journal of Ecology* 16:521-529.

Segura, M; Kanninen, M; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforest Syst. Springer Science + Business Media*.

SPSS. 1999. SPSS 10.0 Syntax Reference Guide. SPSS Inc. USA.

Evaluación de la actividad insecticida *in vitro* de mezclas binarias de extractos vegetales contra la broca del café

Jaime Niño¹,
Ana M. Lagos,
Oscar M. Mosquera

Este estudio contribuye a explorar el potencial de la biodiversidad florística de las zonas de reserva en la Ecorregión Cafetera Central Colombiana, en la búsqueda de principios con actividad insecticida promisorio. Las mezclas binarias constituidas por *Critoniella acuminata*/*Tetrorchidium andinum* y *Critoniella acuminata*/*Dunalia solanacea* presentaron efecto sinérgico de mortalidad, por lo cual se pueden considerar como opciones válidas para el control de la broca del café.



Foto: Angélica María Bustamante Peláez.

¹ Grupo de Biotecnología-Productos Naturales, Escuela de Tecnología Química, Centro de Excelencia (CIEBREG), Universidad Tecnológica de Pereira, A.A. 97. Pereira, Colombia. janino@utp.edu.co

Resumen

Con el fin de determinar la actividad insecticida de extractos de plantas contra la broca del café (*Hypothenemus hampei*), se evaluaron 16 mezclas binarias preparadas con el extracto metanólico de *Critoniella acuminata* (Asteraceae) con nueve extractos de diclorometano y siete de metanol. Las plantas evaluadas pertenecen a las familias Apocynaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Solanaceae, Ranunculaceae, Rubiaceae y Urticaceae, y fueron recolectadas en zonas de reserva de la Ecorregión Cafetera Central de Colombia.

La actividad insecticida *in vitro* se evaluó utilizando como unidad experimental un tubo eppendorf, dentro del cual se introdujo un grano de café pergamino impregnado con las mezclas a 1000 mg/L y una hembra de broca adulta. Las mezclas binarias de *C. acuminata*/*Tetrorchidium andinum* y *C. acuminata*/*Dunalia solanacea* presentaron los mayores porcentajes de actividad insecticida *in vitro*, con valores del 58% y 65%, respectivamente. Estos resultados señalan que las plantas de la Ecorregión Cafetera Central Colombiana pueden ser una fuente potencial de nuevos agentes con actividad insecticida.

Palabras claves: *Hypothenemus hampei*; *Critoniella acuminata*; *Tetrorchidium andinum*; *Dunalia solanacea*; estudios *in vitro*; bioprospección; insecticidas de origen vegetal; sinergismo; flora; biodiversidad; Ecorregión Cafetera Central; Colombia.

Summary

Evaluation *in vitro* of the insecticidal activity of vegetal binary mixtures against the coffee berry borer.

The insecticidal activity against the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) was evaluated for 16 binary mixtures composed by the methanol extract of *Critoniella acuminata* (Asteraceae) and 9-dichloromethane and 7-methanol extracts of plants. The species evaluated belong to the Apocynaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Solanaceae, Ranunculaceae, Rubiaceae and Urticaceae families, and were collected in reserve zones of the Central Colombian Coffee Eco-region.

The *in vitro* insecticidal activity was evaluated using as experimental unit an eppendorf tube, inside of which a coffee grain treated with each mixture at 1000 mg/L and an adult female coffee berry borer were placed. The binary mixtures of *C. acuminata*/*Tetrorchidium andinum* and *C. acuminata*/*Dunalia solanacea* showed the highest *in vitro* insecticidal activities with values of 58% and 65%, respectively. These results show that plants from the Central Colombian Coffee Eco-region can be a potential source of new agents with insecticidal activity.

Keywords: *Hypothenemus hampei*; *Critoniella acuminata*; *Tetrorchidium andinum*; *Dunalia solanacea*; *in vitro* studies; bio-prospection; botanical insecticides; synergism; flora; biodiversity; Central Coffee Eco-region; Colombia.

Introducción

En la actualidad hay gran preocupación por el uso de pesticidas en la agricultura, debido a sus efectos en la salud humana y en el medio ambiente. Los serios daños causados por estos agentes sintéticos se deben a su alta capacidad de acumulación y efecto residual en los componentes bióticos y abióticos del ecosistema (Iannacone y Lamas 2003). Esta problemática también afecta a la cafi-

cultura mundial, puesto que para el control de las principales plagas que atacan al café se emplean cantidades considerables de productos químicos, como el endosulfan (Durham 2004, López-Pazos et ál. 2009).

Una alternativa a esta problemática es el uso de preparados de origen vegetal, los cuales generalmente son biodegradables, no producen desequilibrios en los ecosistemas y actúan de manera diferente sobre varios tipos de plagas (Kim et ál.

2005). La eficacia de los biopreparados ha sido demostrada ampliamente contra diversas plagas de insectos (Schmutterer 1990, Taponju et ál. 2002, Birkett et ál. 2004).

La utilización de mezclas de plaguicidas sintéticos y naturales también ha demostrado su eficacia, gracias al efecto sinérgico por la acción combinada de sus componentes. Así, se ha logrado reducir la cantidad de principios activos necesarios para disminuir la resistencia

que desarrollan los patógenos causantes de las enfermedades (Hayashi 2003). Diversas experiencias de efectos sinérgicos *in vitro* e *in vivo* han sido reportadas en la literatura. Por ejemplo, los extractos acuosos de *Allium sativum* y *Monodora myristica* presentaron actividad insecticida marcada contra plagas de *Vigna unguiculata* (Oparaek et ál. 2000); asimismo, los extractos vegetales de *Coriandrum sativum*, *Caesalpinia spinosa*, *Bidens pilosa* y *Stegobium paniceum* mostraron efecto insecticida contra el gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855, Coleoptera: Curculionidae) (Iannacone y Quispe 2004).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad insecticida *in vitro* de mezclas de extractos vegetales de especies colectadas en la Ecorregión Cafetera Central Colombiana. Las especies evaluadas pertenecen a las familias Asclepiadaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Solanaceae, Ranunculaceae, Rubiaceae y Urticaceae.

Material biológico

Para el bioensayo de la actividad insecticida *in vitro* se utilizaron granos de café pergamino con 41 % de humedad y brocas hembras recién emergidas. El material biológico fue suminis-

trado por el Laboratorio Biocafé de Chinchiná (Caldas, Colombia).

Extracción del material vegetal

Las plantas fueron recolectadas en dos zonas de reserva de la Ecorregión Cafetera: Bremen-La Popa (Filandia-Quindío) [4°40'40" N y 75°37'15" W] y Parque Regional Natural Ucumarí (Pereira-Risaralda) [4°43'22" N y 75°33'90" W]. El material vegetativo fue clasificado por el Dr. F.J. Roldán del Herbario de la Universidad de Antioquia. Un espécimen de cada especie fue depositado en el herbario de la Universidad de Antioquia. La parte aérea fue extraída por maceración durante 48 horas, por triplicado; sucesivamente se usó *n*-hexano, diclorometano y metanol. Los extractos correspondientes se concentraron a 45°C en rotaevaporador y se almacenaron a -10°C hasta su utilización en los bioensayos (Niño et ál. 2006).

Preparación de las mezclas de extractos activos

La actividad insecticida *in vitro* del extracto metanólico de *Critoniella acuminata* se evaluó en combinación con los extractos de metanol y diclorometano que, en evaluaciones previas, habían demostrado la más alta actividad insecticida, en términos de mortalidad de la broca

del café (*Hypothenemus hampei*) (Bustamante 2007, Henao 2008). Las mezclas se prepararon mediante combinaciones en proporciones iguales de peso del extracto de *C. acuminata* y de los demás extractos seleccionados; al final, se obtuvieron concentraciones de 1000 mg/L (Cuadro 1). Las mezclas del extracto metanólico de *C. acuminata* con los extractos de diclorometano activos se disolvieron con *n*-butanol/etanol/agua (0,5:1:98,5); las del extracto metanólico de *C. acuminata* con los extractos de metanol más activos se disolvieron en etanol/agua (1:99).

Determinación de la actividad insecticida *in vitro* de los extractos vegetales contra la broca del café

El bioensayo se realizó bajo condiciones controladas de temperatura (23±3°C) y humedad relativa (75±5%). Como unidad experimental (UE) se usó un tubo eppendorf dentro del cual se colocó un grano de café pergamino, previamente desinfectado e impregnado con una solución de la mezcla a evaluar a 1000 mg/L, y una hembra adulta de broca recién emergida, tratada previamente con una solución de cloruro de benzalconio al 10% (Sanivec®), para su desinfección externa. Como control negativo se empleó el solvente de solubilidad de las respectivas mezclas y como control positivo endosulfan a 1 mg/L. Además, se utilizó un testigo absoluto constituido por un grano de café pergamino desinfectado y una hembra adulta de broca, tratada con cloruro de benzalconio al 10%, en cada UE. Se evaluaron cien UE por cada mezcla, más controles y testigo absoluto. Cada día, durante cuatro días consecutivos, se evaluaron aleatoriamente 25 UE; se controló si hubo o no perforación del grano de café por la broca y si estas estaban vivas o muertas (Niño et ál. 2007). De cada ensayo se efectuaron dos repeticiones; todas las determinaciones se realizaron mediante un diseño completamente aleatorio e independiente.

Cuadro 1. Mezclas binarias (1:1) a 1000 mg/L de extracto metanólico de *C. acuminata* (UTP-127, Asteraceae) con los extractos de diclorometano y metanol más activos contra la broca del café

EXTRACTOS	
Diclorometano	Metanol
<i>Miconia quintuplinervia</i> (UTP-76, Melastomataceae)	<i>Palicourea thyriflora</i> (UTP-30, Rubiaceae)
<i>Solanum stellatiglandulosum</i> (UTP-77, Solanaceae)	<i>Blepharodon mucronatum</i> (UTP-111, Asclepiadaceae)
<i>Psychotria</i> sp. (UTP-91, Euphorbiaceae)	<i>Alchornea calophylla</i> (UTP-128, Euphorbiaceae)
<i>Mikania leiostachya</i> (UTP-103, Asteraceae)	<i>Phenax uliginosus</i> (UTP-143, Urticaceae)
<i>Hyeronima macrocarpa</i> (UTP-104, Euphorbiaceae)	<i>Dunalia solanacea</i> (UTP-145, Solanaceae)
<i>Tetrorchidium andinum</i> (UTP-106, Euphorbiaceae)	<i>Palicourea petiolaris</i> (UTP-147, Rubiaceae)
<i>Clematis haenkeana</i> (UTP-156, Ranunculaceae)	<i>Topobea cf discolor</i> (UTP-160, Melastomataceae)
<i>Topobea cf discolor</i> (UTP-160, Melastomataceae)	
<i>Deprea aff sachapapa</i> (UTP-170, Solanaceae)	

La actividad insecticida *in vitro* de las mezclas se determinó mediante un análisis de conglomerados; se seleccionaron los dos tratamientos que mostraron la mayor proporción de brocas muertas y la menor proporción de perforación de los granos de café. La información se procesó con el software Infostat 2007 d.3.

Actividad insecticida de las mezclas constituidas por el extracto de *C. acuminata* y extractos activos de diclorometano

Los resultados de las mezclas entre *C. acuminata* (UTP-127, Asteraceae) y los extractos de diclorometano más activos se muestran en la Fig. 1. Entre las mezclas que arrojaron mejores resultados está la conformada por el extracto metanólico de *C. acuminata* y el de diclorometano de *Tetrorchidium andinum*. La actividad insecticida de esta mezcla causó una mortalidad del 58%. La actividad de la mezcla binaria fue superior a la que presentaron los extractos por separado, cuyos valores fueron 29 y 18% respectivamente (Bustamante 2007, Henao 2008).

En la marcha fitoquímica del extracto metanólico de *C. acuminata* se detectaron alcaloides y saponinas; en el extracto de diclorometano de *T. andinum* se evidenciaron flavonoides, alcaloides, terpenos, triterpenos, esteroides y saponinas. Se considera que estos metabolitos secundarios son los responsables por la actividad insecticida presentada por la mezcla; además, es posible que la combinación de ambos extractos genere una acción sinérgica. Este efecto es importante y deseable, si se quiere obtener un fitoinsecticida con bajas cantidades de agentes activos para el control de tan seria plaga de la caficultura nacional.

En especies de la familia Asteraceae, también se encontró actividad larvicida. Por ejemplo, el extracto acetónico de *Eupatorium microphyllum* causó una mortalidad del 95,4% en larvas de *Aedes*

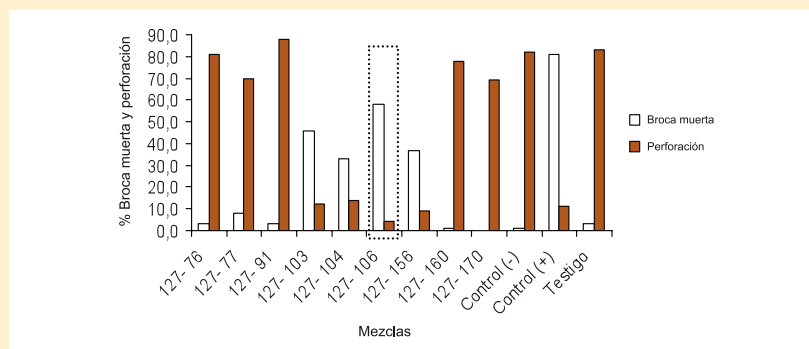


Figura 1 Resultados de la acción insecticida de las mezclas del extracto metanólico de *C. acuminata* (UTP- 127, Asteraceae) con los nueve extractos activos de diclorometano

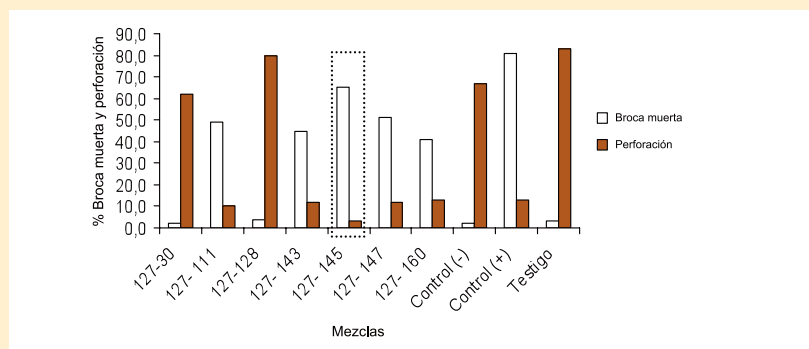


Figura 2 Resultados de la acción insecticida de las mezclas del extracto metanólico de *C. acuminata* (UTP- 127, Asteraceae) con los siete extractos activos de metanol

aegypti (Rozo et ál. 2008); asimismo, el extracto de *Senecio salignus* produjo una mortalidad del 100% en el gorgojo (*Zabrotes subfasciatus*) del frijol almacenado (López et ál. 2007). Estudios de la actividad larvicida de 83 especies provenientes de la familia Asteraceae sobre larvas de *Aedes fluviatilis* determinaron que el extracto etanólico de *Tagetes minuta* presentó una CL₉₀ de 1,5 mg/L; los compuestos activos identificados de esta especie fueron derivados del tiofeno, agente ampliamente conocido por sus propiedades insecticidas (Macêdo et ál. 1997).

También se han realizado estudios sobre la acción de los extractos vegetales de especies de la familia Asteraceae sobre el crecimiento de los insectos. Por ejemplo, en la especie *Ageratum conyzoides*, se logró identificar compuestos de naturaleza

triterpénica como cromenos (precosenos I y II) que afectan el proceso de muda de los insectos, produciendo adultos estériles al inhibir la actividad de las hormonas que aceleran el proceso de crecimiento (Ming 1999).

Algunas plantas de la familia Euphorbiaceae también han mostrado utilidad para el control de insectos plagas. El extracto acuoso de *Euphorbia cotinifolia* causó una mortalidad del 56,7% en la población de lepidópteros que se encuentran en la palma aceitera (*Eupalamides cyparissias*) (Pérez e Iannacone 2008). Además, se ha documentado la actividad insecticida de los aceites esenciales de especies del género *Croton* (*C. zehntneri*, *C. argyrophyllodes*, *C. nepetaefolius* y *C. sonderianus*) contra larvas de *Aedes aegypti* (Lima et ál. 2006). Para el control del *A. aegypti*, se probó la especie *Arvini communis*

(Euphorbiaceae), que posee el alcaloide ricinina y toxoalbúmina ricina, los cuales son altamente tóxicos para lepidópteros y coleópteros (Parra et ál. 2007).

Actividad insecticida de las mezclas del extracto *C. acuminata* y extractos activos de metanol

La actividad insecticida *in vitro*, entre *C. acuminata* y los extractos de metanol activos se muestra en la Fig. 2. La mezcla con mayor actividad fue la constituida por *C. acuminata* y *Dunalia solanacea* (UTP-145, Solanaceae), la cual presentó actividad insecticida de mortalidad del 65%. En *D. solanacea* se aislaron withanolidos F-H, con fuerte actividad acaricida (Luis et ál. 1994). Otra

especie con actividad importante fue *Critoniella acuminata* (Asteraceae), de la cual se aisló el compuesto 3-(Benzo[1,3]dioxol-5-il)-*N*-fenetil-acrilamida, que presentó actividad antiinflamatoria significativa en el ensayo del edema auricular inducido por aceite de crotón en ratón (Medina et ál. 2007). Adicionalmente, los extractos de *n*-hexano, diclorometano y metanol de *Tetrorchidium andinum* (Euphorbiaceae), presentaron actividad antioxidante moderada en el ensayo del DPPH (Mosquera et ál. 2007).

Conclusi n

Las mezclas binarias constituidas por *Critoniella acuminata*/*Tetrorchidium andinum* y *Critoniella acuminata*/*Dunalia solanacea* presentaron efec-

to sinérgico de mortalidad, por lo cual se pueden considerar como opciones válidas para el control de la broca del café. Este estudio contribuye a explorar el potencial de la biodiversidad florística de las zonas de reserva en la Ecorregión Cafetera Central Colombiana, en la búsqueda de principios con actividad insecticida promisorio. 

Agradecimientos

Los autores agradecen a COLCIENCIAS, al CIEBREG y a la Universidad Tecnológica de Pereira por el financiamiento parcial del proyecto. A la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER) y a la Corporación Regional del Quindío (CRQ) por los permisos otorgados para la recolección del material vegetal empleado en este estudio.

Literatura citada

- Birkett, MA; Dodds, CJ; Henderson, IF; Leake, LD; Pickett, JA; Sel, MJ; Watson, P. 2004. Antifeedant compounds from three species of Apiaceae active against the field slug, *Deroceras reticulatum* (Muller). *Journal of Chemical Ecology* 30: 563-576.
- Bustamante, A. 2007. Evaluación de 42 extractos vegetales para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari). Trabajo de grado. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira. 49 p.
- Durham, S. 2004. Stopping the coffee berry borer from boring into profits. *Agricultural Research Magazine* 52: 10-11.
- Hayashi, K. 2003. ABC and MFS transporters from *Botrytis cinerea* involved in sensitivity to fungicides and natural toxic compounds. PhD Thesis. Wageningen, Holland, Wageningen University. 151 p.
- Henao, LM. 2008. Control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) con extractos vegetales de plantas de la flora regional. Trabajo de grado. Pereira, Colombia Universidad Tecnológica de Pereira. 57 p.
- Iannacone, J; Quispe, C. 2004. Efecto insecticida de dos extractos vegetales sobre el gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) en Perú. *Revista Peruana de Entomología* 44: 81-87.
- Iannacone, J; Lamas, G. 2003. Efectos toxicológicos de extractos de molle (*Schinus molle*) y lantana (*Lantana camara*) sobre *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae), *Trichogramma pintoi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y *Copidosoma koehleri* (Hymenoptera: Encyrtidae), en el Perú. *Agricultura Técnica* 63: 347-360.
- Kim, DI; Park, JD; Kim, SG; Kuk, H; Jang, MS; Kim, SS. 2005. Screening of some crude plant extracts for their acaricidal and insecticidal efficacies. *Journal Asia-Pacific Entomology* 8: 93-100.
- Lima, M; Maia, I; Sousa, B; Morais, S; Freitas, S. 2006. Effect of stalk and leaf extracts from Euphorbiaceae species on *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae) larvae. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo* 48: 211-214.
- López, E; Rodríguez, C; Ortega, L; Garza, R. 2007. Actividad biológica de la raíz de *Senecio salignus* contra *Zabrotes subfasciatus* en frijol almacenado. *Agrociencia* 41: 95-102.
- López-Pazos, SA; Cortázar-Gómez, JE; Cerón-Salamaca, JA. 2009. Cry 1B and Cry3A are active against *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Invertebrate Pathology* 101: 242-245.
- Luis, GJ; Echeverri, F; González, AG. 1994. Acnistins F-H: Withanolides from *Dunalia solanacea*. *Phytochemistry* 36: 769-772.
- Macêdo, M; Consoli, R; Grande, T; Anjos, A; Oliveira, A; Mendes, N; Queiróz, R; Zani, C; Carlos, L. 1997. Screening of Asteraceae (Compositae) plant extracts for larvicidal activity against *Aedes fluviatilis* (Diptera: Culicidae). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 92: 565-570.
- Medina, DP; Garavito-Najas, J; Luengas-Caicedo, P; Calle-Álvarez, J. 2007. Evaluación de actividad antiinflamatoria de una feniletilamida de *Critoniella acuminata*. *Scientia et Technica* 33: 405-407.
- Ming, LC. 1999. *Ageratum conyzoides*: A tropical source of medicinal and agricultural products. In Janick, J. (ed.). *Perspectives on new crops and new uses*. Alexandria, VA, Estados Unidos, ASHS Press. P. 469-473.
- Mosquera, OM; Correa, YM; Buitrago, DC; Niño, J. 2007. Antioxidant activity of twenty five plants from Colombian biodiversity. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 102: 631-634.
- Niño, J; Bustamante, AM; Correa, YM; Mosquera, OM. 2007. Evaluación de extractos vegetales para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari). *Scientia et Technica* 33: 383-385.
- Niño, J; Correa, YM; Mosquera, OM. 2006. Antibacterial, antifungal, and cytotoxic activities of 11 Solanaceae plants from Colombian biodiversity. *Pharmaceutical Biology* 44: 14-18.
- Oparaake, AM; Dike, MC; Amatobi, CI. 2000. Insecticidal potential extracts of garlic, *Allium sativum* L. bulbs and African nutmeg, *Monodora myristica* (Gaertn) Dunal seed for insect pests control on cowpea. *Entomological Society of Nigeria (Occasional Publication)* 32: 169-174.
- Parra, G; García, C; Cotes, J. 2007. Actividad insecticida de extractos vegetales sobre *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) vector del dengue en Colombia. *Revista CES Medicina* 21: 47-54.
- Pérez, D; Iannacone, J. 2008. Mortalidad y repelencia en *Eupalamides cyparissias* (Lepidoptera: Casteniidae) plaga de la palma aceitera *Elaeis guineensis*, por efecto de diez extractos botánicos. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 67: 41-48.
- Rozo, A; Zapata, C; Bello, F. 2008. Evaluación del efecto tóxico de extractos de *Eupatorium microphyllum* L.F. (Asteraceae) sobre larvas de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en condiciones de laboratorio. *Revista Ciencias de la Salud* 6: 64-73.
- Schmutterer H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology* 35: 271-298.

Evaluación de la actividad insecticida *in vitro* de extractos vegetales contra la broca del café

Oscar M. Mosquera¹,
Lina M. Henao, Jaime Niño

Las plantas tropicales pueden ser fuente de nuevos insecticidas naturales. Se infiere, que la biodiversidad de las plantas del Parque Regional Natural Ucumarí -especialmente de las familias Ranunculaceae, Piperaceae y Solanaceae - puede ser una alternativa importante para la obtención de bioplaguicidas para el control de la broca del café.

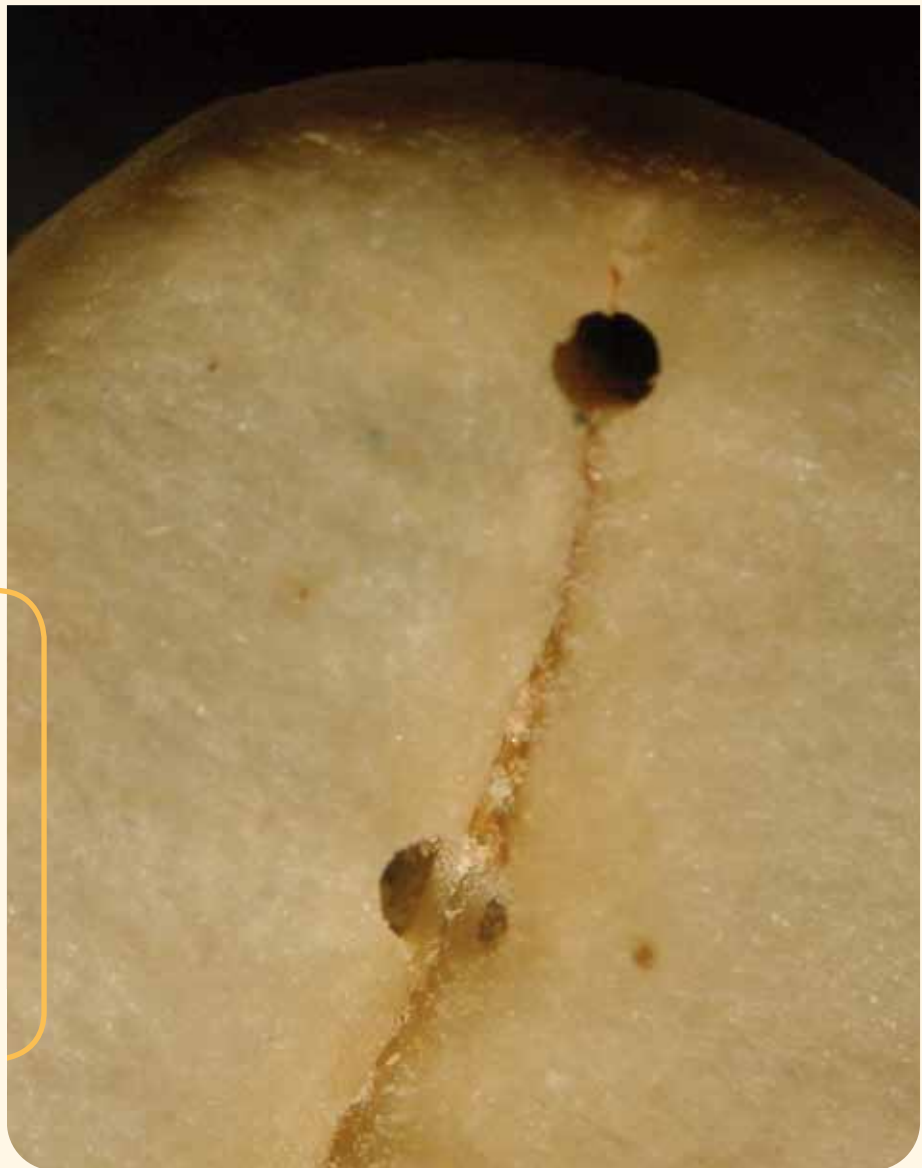


Foto: Angélica María Bustamante Peláez.

¹ Grupo de Biotecnología-Productos Naturales, Escuela de Tecnología Química, Centro de Excelencia (CIEBREG), Universidad Tecnológica de Pereira. A.A. 97. Pereira, Colombia. omosquer@utp.edu.co

Resumen

En la búsqueda de plantas con actividad insecticida para ser empleadas en el manejo integrado de la broca del café (*Hyphothenemus hampei*), se evaluaron 46 extractos crudos de diclorometano y metanol obtenidos de plantas recolectadas en zonas de reserva de la Ecorregión del Eje Cafetero. Dichas plantas pertenecen a las familias Apocynaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Solanaceae, Ranunculaceae, Rubiaceae y Urticaceae.

La actividad insecticida *in vitro* se evaluó utilizando como unidad experimental un vial, en el cual se introdujo una hembra de broca adulta y un grano de café pergamino impregnado con el respectivo extracto a evaluar (diclorometano o metanol) a 1000 mg/L. Para cada extracto se utilizaron cien unidades experimentales con dos repeticiones. Los extractos de diclorometano de las especies *Clematis haenkeana*, *Piper umbellatum* y *Phenax uliginosus* fueron los más activos contra *H. hampei*. Los extractos metanólicos más activos fueron los de *Topobea cf discolor*, *Dunalia solanacea* y *Rodostemonodaphne* sp. Estos resultados confirman el potencial de las plantas de la zona de reserva de la Ecorregión del Eje Cafetero como fuente de nuevos agentes con actividad insecticida contra *H. hampei*.

Palabras claves: *Hyphothenemus hampei*; *Clematis haenkeana*, *Piper umbellatum*; *Phenax uliginosus*; *Topobea cf discolor*, *Dunalia solanacea*; *Rodostemonodaphne*; estudios *in vitro*; bioprospección; insecticidas de origen vegetal; flora; biodiversidad; Ecorregión del Eje Cafetero; Colombia.

Summary

Evaluation *in vitro* of vegetal extracts insecticidal activity against the coffee berry borer.

In the search of plants with insecticidal activity for the integrated management of the coffee berry borer (*Hyphothenemus hampei*) pest, 46 dichloromethane and methanol crude vegetal extracts were evaluated. The plants evaluated belong to the Apocynaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Solanaceae, Ranunculaceae, Rubiaceae and Urticaceae families, and were collected in natural reserves of the Colombian Coffee Eco-region.

For evaluating the *in vitro* insecticidal activity, a vial was used as experimental unit in which a mature female coffee berry borer and a coffee grain soaked in the respective extract solution (dichloromethane or methanol) at 1000 mg/L were introduced. For each plant extract analyzed, one hundred experimental units with two replicates were used. The most active dichloromethane extracts against *H. hampei* were those belonging to the species *Clematis haenkeana*, *Piper umbellatum* and *Phenax uliginosus*, while the most active methanolic ones were *Topobea cf discolor*, *Dunalia solanacea* and *Rodostemonodaphne* sp. These results confirm the potential of plants from natural reserves in the Coffee Eco-region as a source of new agents with insecticidal activity against *H. hampei*.

Keywords: *Hyphothenemus hampei*; *Clematis haenkeana*, *Piper umbellatum*; *Phenax uliginosus*; *Topobea cf discolor*, *Dunalia solanacea*; *Rodostemonodaphne*; *in vitro* studies; bioprospection; botanical insecticides; flora; biodiversity; Coffee Eco-region; Colombia.

Introducción

La broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari, Coleoptera: Curculionidae: Scolytidae) es un insecto monofago que ataca al género *Coffea* y es la principal plaga de la caficultura a nivel mundial (Jaramillo et ál. 2009). Desde su aparición en Colombia, en 1988, se ha distribuido por todos los depar-

tamentos cafeteros; en la actualidad, se encuentra prácticamente en las 800.000 hectáreas sembradas, lo cual afecta la calidad del producto, la productividad y la competitividad del cultivo (Romero y Cortina 2007, Poveda et ál. 2006).

El control de la broca se realiza mediante un programa de manejo integrado que comprende varias

alternativas y opciones combinadas, entre las cuales se incluyen controles culturales, biológicos y químicos (Bustillo 2002, Sánchez y Rodríguez 2008). En el control biológico se emplean parasitoides como las avispas *Heterospilus coffeicola*, *Prorops nasuta*, *Cephalonomia stephanoderis*, y entomopatógenos como los hongos *Beauveria bassiana* y *Metarrhizium*

anisoplae. En el control químico se utilizan los insecticidas endosulfan, lorsban y sumithion, entre otros (Jaramillo et ál. 2006).

En la búsqueda de nuevas alternativas biorracionales que ayuden en el control de plagas de insectos y, a la vez, permitan sustituir los pesticidas sintéticos, los fitoinsecticidas se perfilan como una opción agronómica eficiente, viable y amigable con el ambiente (Calderón et ál. 2001). Los bioinsecticidas preparados a partir de extractos vegetales contienen metabolitos secundarios como alcaloides, sesquiterpenlactonas y terpenos, entre otros compuestos con acciones larvicidas, disuasorias, repelentes y anti-alimentarias contra un amplio rango de insectos plagas (Isman 2006, Pungitore et ál. 2003).

Entre los extractos vegetales con actividad contra *H. hampei* se encuentran los del árbol del neem (*Azadirachta indica*, Meliaceae) que han presentado resultados promisorios como insecticida en varios cultivos (Depieri et ál. 2005, Mitchell y Ahmad 2006). Además, los extractos de *Glycine max*, *Phaseolus vulgaris* y *Macadamia* sp. han causado niveles significativamente altos de mortalidad a la broca del café en los diferentes estados morfológicos (Gómez et ál. 2007). El aceite esencial de *Myrtostachys mollis* (HBK) Grises (Lamiaceae) produjo mortalidad total de la broca del café (Calle et ál. 2004); también el extracto etanólico de la corteza de *Bocconia frutescens* (Papaveraceae) presentó un efecto insecticida del 77,8% sobre este insecto plaga (Valencia et ál. 2007). El extracto acuoso de *Trichilia havanensis* (Meliaceae) redujo significativamente el porcentaje de granos de café brocados (López-Olgún et ál. 2006). Estos resultados demuestran que la utilización de extractos vegetales es una estrategia promisoriosa para el control de plagas y enfermedades en cultivos de importancia agronómica, pues no solo se reduce el impacto

económico y ecológico producido por el uso indiscriminado de pesticidas sintéticos, sino que también contribuyen al desarrollo de la agricultura orgánica (Isman 2006).

En este trabajo se determinó la actividad insecticida *in vitro* contra la broca del café, de los extractos crudos de diclorometano y metanol de 23 especies vegetales recolectadas en zonas de reserva de la Ecorregión del Eje Cafetero (conformada por los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, norte del Valle del Cauca y occidente del Tolima). El propósito de este estudio fue obtener agentes que sean menos contaminantes con el medio ambiente y la salud humana, pero más efectivos en el control del insecto.

Material biológico

Para determinar la actividad insecticida *in vitro* se utilizaron granos de café pergamino con 41% de humedad y brocas hembras recién emergidas. El material biológico fue proveído por el Laboratorio Biocafé de Chinchiná (Caldas, Colombia).

Extracción del material vegetal

Las muestras de las 23 especies vegetales se recolectaron en el Parque Regional Natural Ucumari [4°43'22" N y 75°33'90" W], ubicado en Pereira, Colombia. Las plantas se recolectaron el 28 de junio del 2006 y fueron clasificadas por el Dr. FJ. Roldán del Herbario de la Universidad de Antioquia. Un espécimen de cada una fue depositado en el Herbario de la Universidad de Antioquia. El extracto vegetal se obtuvo por maceración durante 48 horas, por triplicado, con *n*-hexano. Los extractos combinados se concentraron a 45°C, a presión reducida. El mismo material vegetal se extrajo con diclorometano y metanol, siguiendo el procedimiento propuesto por Niño et ál. (2006). Todos los extractos se almacenaron a -10°C hasta su utilización en los bioensayos de actividad insecticida y en la marcha fitoquímica.

Marcha fitoquímica de los extractos crudos de diclorometano y metanol

Los diferentes extractos crudos se caracterizaron mediante una marcha fitoquímica a través de cromatografía de capa delgada, según la metodología descrita por Wagner y Bladt (1996). Se utilizaron cromatofolios en aluminio de sílica gel 60 F₂₅₄ (Merck). Para la elución de los componentes presentes en los extractos de diclorometano se empleó el sistema *n*-hexano-acetato de etilo (70:30) y para los de metanol se utilizó acetato de etilo-metanol-agua (100:13,5:10). Los alcaloides, esteroides, terpenos, saponinas, fenoles y flavonoides se detectaron mediante las siguientes reacciones de caracterización: Dragendorff, anisaldehído-ácido sulfúrico, vainillina 1% en ácido sulfúrico-etanol, cloruro férrico al 1% y tricloruro de aluminio al 2%. Todas las determinaciones se realizaron por duplicado.

Determinación de la actividad insecticida *in vitro* de extractos vegetales contra la broca del café

Para el bioensayo *in vitro* de la actividad insecticida contra la broca del café se prepararon soluciones patrones a 1000 mg/L de los extractos crudos de diclorometano y metanol. Los extractos de diclorometano se disolvieron en la mezcla etanol-*n*-butanol (3:1) y los de metanol se disolvieron en etanol. El bioensayo se realizó bajo condiciones controladas de temperatura (23±3°C) y humedad relativa (75±5%). A cada unidad experimental (UE) se transfirió un grano de café pergamino previamente desinfectado e impregnado con una solución del respectivo extracto a 1000 mg/L y una broca hembra adulta recién emergida, desinfectada previamente con cloruro de benzalconio al 10% (Sanivec®), enjuagada con agua estéril y secada en corriente de aire tibio. Como control negativo se utilizó el respectivo solvente de solubilidad de los

extractos y como control positivo endosulfan a 1 mg/L. Además, se empleó un testigo absoluto constituido por granos de café pergamino sin ningún tratamiento con los extractos e infestados con una broca en cada UE. Para la evaluación de la actividad insecticida de cada extracto se utilizaron cien UE. Cada día, durante cuatro días consecutivos, se evaluaron aleatoriamente 25 UE; se controló si hubo o no perforación del grano de café por la broca y si estas estaban vivas o muertas (Niño et ál. 2007).

De cada ensayo se efectuaron dos repeticiones; todas las determinaciones se realizaron mediante un diseño aleatorio completamente independiente. La actividad insecticida

in vitro se evaluó con las variables ‘mortalidad de las brocas’ y ‘repelencia producida por el extracto’ mediante un análisis de conglomerados; se seleccionaron los dos tratamientos que mostraron la mayor proporción de brocas muertas y la menor proporción de perforación de granos de café. La información se procesó con el software Infostat 2007 d.3.

Actividad insecticida de los extractos de diclorometano

En el Cuadro 1 se ofrece la lista de plantas cuyos extractos de diclorometano y metanol fueron evaluados por su actividad insecticida *in vitro* contra la broca del café y analizados a través de la marcha

fitoquímica. La actividad insecticida de los extractos evaluados fue baja con respecto al control positivo (Fig. 1). De acuerdo con las diferencias significativas encontradas mediante el análisis estadístico de diferencia de proporciones (Zar 1999), los extractos de diclorometano de las especies *Clematis haenkeana*, *Piper umbellatum* y *Phenax uliginosus* presentaron mayor actividad insecticida de repelencia o disuasión que de mortalidad, con relación al testigo absoluto y al control positivo.

La actividad disuasoria del extracto de diclorometano de *C. haenkeana* correlaciona con la reportada para *Ranunculus japonicus* que presentó actividad insecticida y acaricida moderada contra

Cuadro 1. Marcha fitoquímica de las plantas evaluadas por su actividad insecticida contra la broca del café

Familia	Especie	No. UTP	Metabolitos secundarios											
			Alcaloides		Terpenos y esteroides		Saponinas		Fenoles y taninos		Flavonoides		Sesquiterpenlactonas y cardenólidos	
			MeOH	CH ₂ Cl ₂	MeOH	CH ₂ Cl ₂	MeOH	CH ₂ Cl ₂	MeOH	CH ₂ Cl ₂	MeOH	CH ₂ Cl ₂	MeOH	CH ₂ Cl ₂
Apiaceae	<i>Arracacia elata</i>	153	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	+
Asclepiadaceae	<i>Blepharodon bifidus</i>	151	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-
	<i>Clusia multiflora</i>	157	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-
Clusiaceae	<i>Clusia</i> sp.	155	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+
	<i>Tovomita guianensis</i>	159	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-
Lauraceae	<i>Rodostemonodaphne</i>	162	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-
Melastomataceae	<i>Topobea cf discolor</i>	160	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Passifloraceae	<i>Passiflora apoda</i>	141	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+
	<i>Passiflora antioquiensis</i>	152	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-
	<i>Peperomia acuminata</i>	154	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-
Piperaceae	<i>Piper eriopodon</i>	158	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
	<i>Piper umbellatum</i>	163	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	<i>Piper pesaresanum</i>	148	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-
Ranunculaceae	<i>Thalictrum podocarpum</i>	144	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-
	<i>Clematis haenkeana</i>	156	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+
	<i>Rubiacea</i> sp.	149	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-
Rubiaceae	<i>Palicourea petioaris</i>	147	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	+	-
	<i>Dunalia solanacea</i>	145	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-
	<i>Lycianthes radiata</i>	146	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-
Solanaceae	<i>Solanum</i> sp.	161	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-
	<i>Boehmeria bullata</i>	142	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+
	<i>Phenax uliginosus</i>	143	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-
Urticaceae	<i>Urera ballotaefolia</i>	150	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-
Control positivo			Licorina		Lanosterol		Diospolisaponina A		Catecol		Kampferol		Digoxina	

Presencia (+) Ausencia (-)

Tetranychus urticae, *Aphis gossypii*, *Myzus persicae*, *Trialeurodes vaporariorum* y *Panonychus citri* (Kim et ál. 2005). La actividad del extracto de diclorometano de *P. umbellatum* también coincide con la actividad insecticida presentada por plantas del género *Piper*. Por ejemplo, *P. longanum* mostró actividad insecticida alta contra *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) (Park et ál. 2002) y *P. marginatum* mostró actividad larvicida y disuasoria fuerte contra *Aedes aegypti* (Autran et ál. 2009). También se ha reportado actividad larvicida de los aceites esenciales de diversas especies de *Piper* (Morais et ál. 2007). Tales actividades se atribuyen a los alcaloides piperidínicos presentes en este género.

La marcha fitoquímica permitió determinar que el extracto de diclorometano de *C. haenkeana* contenía fenoles, taninos, terpenos, triterpenos, esteroides, saponinas esteroidales y triterpénicas. En *P. umbellatum* se detectaron alcaloides, sesquiterpenlactonas y cardenólidos. Se considera que los metabolitos secundarios en estos extractos son los responsables de la actividad insecticida contra la broca del café.

Actividad insecticida de los extractos metanólicos

El análisis estadístico de diferencia de proporciones (Zar 1999) mostró diferencias significativas entre los extractos metanólicos de *Dunalia solanacea*, *Topobea cf discolor* y *Rodostemonodaphne* sp. (Fig. 2). Tales extractos presentaron actividad insecticida de repelencia o disuasión baja, en relación con el control positivo. La actividad insecticida del extracto metanólico de *D. solanacea* coincide con la presentada por otras especies; por ejemplo, el tomate (*Lycopersicum esculentum*), el tabaco (*Nicotiana tabacum*) y el ají (*Capsicum frutescens*) presentan actividad insecticida fuerte y de repelen-

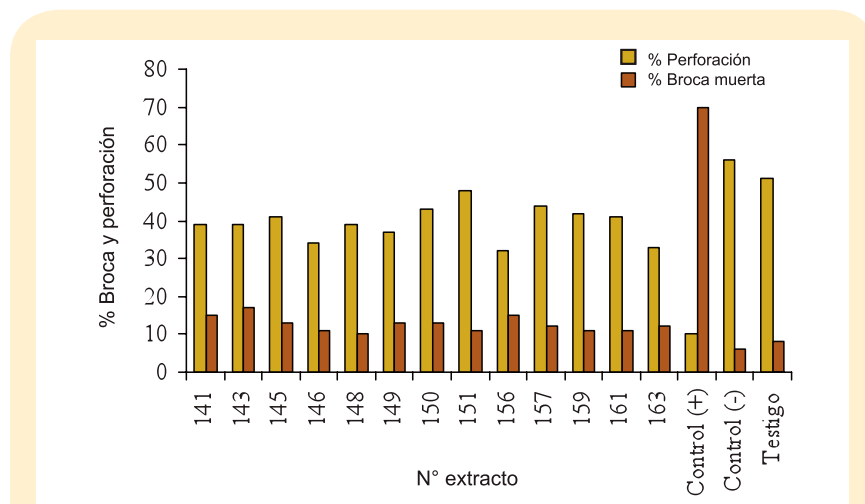


Figura 1. Extractos de diclorometano con actividad insecticida y/o repelencia contra la broca del café

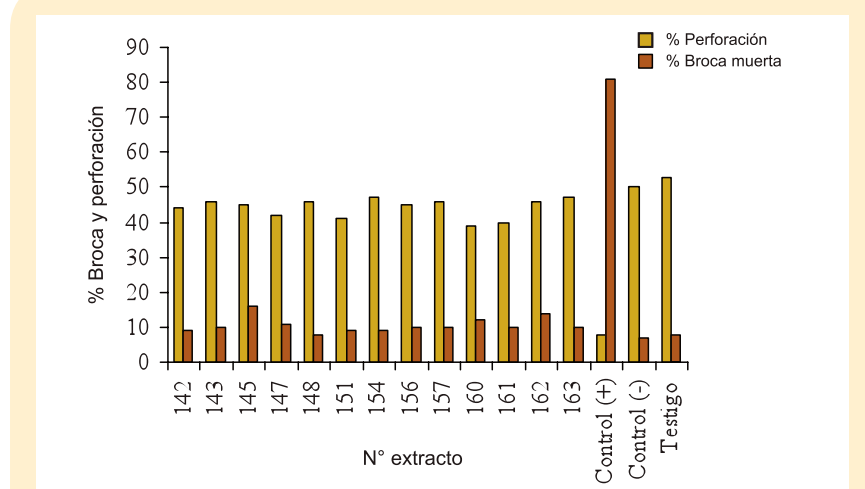


Figura 2. Extractos metanólicos con actividad insecticida y/o repelencia contra la broca del café

cia contra pulgones, ácaros, mosca blanca y broca del café (Ramírez 2004). La actividad insecticida y disuasoria de *Rodostemonodaphne* sp. concuerda con la reportada para *Cinnamomum camphora* (Lauraceae) contra *Sitophilus oryzae* y *Bruchus rugimanus* Bohem, plagas que atacan los granos almacenados (Liu et ál. 2006).

De acuerdo con la marcha fitoquímica, el extracto metanólico de *D. solanaceae* presentó metabolitos

secundarios, tales como alcaloides, fenoles, taninos, flavonoides, sesquiterpenlactonas y cardenólidos. En el extracto de *T. cf discolor* se detectaron fenoles, taninos, saponinas esteroidales y triterpénicas; mientras que en el extracto de *Rodostemonodaphne* sp. se encontraron alcaloides, flavonoides, fenoles y taninos (Cuadro 1). Estos metabolitos secundarios podrían ser los responsables de la actividad insecticida reportada.

Conclusion

Los resultados obtenidos en este trabajo corroboran que las plantas tropicales pueden ser fuente de nuevos insecticidas naturales. Se infiere, entonces, que la biodiversidad de las plantas del Parque Regional Natural Ucumarí -especialmente de las familias Ranunculaceae, Piperaceae y Solanaceae - puede ser una alterna-

tiva importante para la obtención de bioplaguicidas para el control de la broca del café. En el futuro, será necesario formular nuevos estudios sobre el aislamiento, purificación, identificación y bioactividad de los metabolitos secundarios aislados en este bioensayo, con el fin de obtener bioinsecticidas que se puedan emplear en el manejo integrado de la broca del café.

Agradecimientos

Los autores agradecen a COLCIENCIAS, al CIEBREG y a la Universidad Tecnológica de Pereira por el financiamiento parcial del proyecto. A la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER) por conceder el permiso de recolección de los materiales vegetales.

Literatura citada

- Autran, ES; Neves, IA; da Silva, CSB; Santos, GKN; da Câmara, CAG; Navarro, DMAF. 2009. Chemical composition, oviposition deterrent and larvicidal activities against *Aedes aegypti* of essential oils from *Piper arginatum* Jacq. (Piperaceae). *Bioresource Technology* 100: 2284-2288.
- Bustillo, A. 2002. El desarrollo de un programa de manejo integrado de la broca del café en Colombia. In *Memorias del curso internacional teórico-práctico sobre entomopatógenos, parasitoides y otros enemigos de la broca del café*. Chinchiná, Colombia. CENICAFE. p. 115-121.
- Calderón, JS; Céspedes, CL; Rosas, R; Gómez-Garibay, F; Salazar, JR; Lina, L; Aranda, E; Kubo, I. 2001. Acetylcholinesterase and insect growth inhibitory activities of *Gutierrezia microcephala* on fall armyworm *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith. *Z. Naturforschung C* 56: 382-394.
- Calle, J; Espinosa, A; Núñez, C; Bautista, E; Pinzón, R. 2004. Actividad insecticida del aceite esencial de *Myntostachys mollis* (HBK) Griseb y sus componentes. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas* 33: 137-144.
- Depieri, RA; Martínez, S; Menezes, JRAO. 2005. Compatibility of the fungus *Beauveria Bassiana* (Bals.) Vuill. (Deuteromycetes) with extracts of Neem seeds and leaves and the emulsible oil. *Neotropical Entomology* 34: 601-606.
- Gómez, J; Guarín, A; Acuña, R. 2007. Evaluación de mortalidad de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytidae) con extractos vegetales crudos incorporados en dieta meridica. In *Resúmenes XXXIV Congreso Sociedad Colombiana de Entomología*. 126 p.
- Jaramillo, J; Chabi-Olaye, A; Borgemeister, C; Kamonjo, C; Poehling, HM; Vega FE. 2009. Where to sample? Ecological implications of sampling strata in determining abundance and impact of natural enemies of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Biological Control* 45: 245-253.
- Jaramillo, J; Borgemeister, C; Baker, PS. 2006. Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): searching for sustainable control strategies. *Bulletin of Entomological Research* 96: 223-233.
- Isman, MB. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review Entomology* 51: 45-46.
- Kim, DK; Park, JD; Kim, SG; Kuk, H; Jamg, MS; Kim, SS. 2005. Screening of some crude plant extracts for their acaricidal and insecticidal efficacies. *Journal Asia-Pacific Entomology* 8: 93-100.
- Liu, CH; Mishra, AK; Tan, RX; Tang, C; Yang, H; Shen, YF. 2006. Repellent and insecticidal activities of essential oils from *Artemisia princeps* and *Cinnamomum camphora* and their effect on seed germination of wheat and broad bean. *Bioresource Technology* 97:1969-1973.
- López-Olgún, JF; Sánchez-Pérez, A; Aragón, AG; Pérez, RA; Huerta, AP; Tapia, AMR. 2006. Evaluación de extractos acuosos de Meliaceae para el manejo de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: scolytidae). In *Resúmenes XXXIII Congreso Scololen*, 26 - 28 de julio 2006. Manizales, Colombia. 126 p.
- Mitchell, SA; Ahmad, MH. 2006. A review of medicinal plant research in the University of West Indies, Jamaica, 1948-2001. *West Indian Medical Journal* 55: 243-269.
- Morais, SL; Alves, VF; Medeiros, LB; Barreira, ESC; Dos Anjos, JFJ; Ferreira, AS; De Brito, ES; Souza, MAN. 2007. Chemical composition and larvicidal activity of essential oils from *Piper* species. *Biochemical Systematics and Ecology* 35:670-675.
- Niño, J; Bustamante, AM; Correa, YM; Mosquera, OM. 2007. Evaluación de extractos vegetales para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari). *Scientia et Technica* 33:383-385.
- Niño, J; Correa, YM; Mosquera, OM. 2006. Antibacterial, antifungal, and cytotoxic activities of 11 Solanaceae plants from Colombian biodiversity. *Pharmaceutical Biology* 44(1):4-18.
- Park, BS; Lee, SE; Choi, WS; Jeong, ChY; Song, Ch; Cho, KY. 2002. Insecticidal and acaricidal activity of piperonaline and piperoctadecalidine derived from dried fruits of *Piper longum* L. *Crop Protection* 21: 249-251.
- Pungitore, CR; García, M; Gianello, JC; Sosa, ME; Tonn, CE. 2003. Insecticidal and antifeedant effects of *Junellia aspera* (Verbernaceae) triterpenes and derivatives on *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 41:433-443.
- Poveda, M; Soriano, J; Villalba, D. 2006. Evaluación de la eficacia del insecticida Rimon 10 EC para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). In *Memorias XXXIII Congreso de Entomología*, Manizales, CO, 26-28 julio 2006. p. 102-111.
- Ramírez, S. 2004. Manual de biopesticidas: tecnología para protección de cultivos. 2 ed. La Paz, Bolivia, Proyecto Agroforestal C-23. p. 3-49.
- Romero, JV; Cortina, HA. 2007. Life tables of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) on three coffee accessions. *Revista Colombiana de Entomología* 33: 10-16.
- Sánchez, L; Rodríguez, MG. 2008. Potencialidades de *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar cepa HC1 para el manejo de *Hypothenemus hampei* Ferr. II. Compatibilidad con *Beauveria Bassiana* (Bálsamo) Vuillemin y Endosulfan. *Revista Protección Vegetal* 23:104-111.
- Valencia, O; Silva, J; Barrera, M; Isaza, JH. 2007. Actividad insecticida de extractos de *Bocconia frutescens* sobre *Hypothenemus hampei* Ferrari. *Scientia et Technica* 33:251-252.
- Wagner, H; Bladt, S. 1996. Plant drug analysis: A thin layer chromatography atlas. 2 ed. Berlin, DE, Springer-Verlag. 360 p.
- Zar, JH. 1999. Bio-statistical analysis. 4 ed. New Jersey, US, Prentice Hall. 929 p.

Instrumentos de política para la gestión de servicios ecosistémicos en agroecosistemas cebolleros de la cuenca del río Otún, Colombia

Sonia Liliana Guzmán Vargas¹;
María Teresa Palacios Lozano²

La caracterización del sistema productivo de la cebolla permitió concluir que la provisión de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Otún es afectada por el cultivo, y que es necesario identificar alternativas que mitiguen dichos impactos.

Como resultado de la dinámica participativa del proceso se propone un sistema de instrumentos de política y su respectivo sistema de indicadores, a fin de mitigar los impactos y corroborar la pertinencia de las acciones sugeridas.



Fotos: Elizabeth Corrales Murcia.

¹ Investigadora Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt - Grupo Políticas Intersectoriales. slguzman@humboldt.org.co

² Coordinadora del grupo de investigación en Políticas Intersectoriales. Investigadora Principal Programa de Política y Legislación del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt - Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG. mtpalacios@humboldt.org.co.

Resumen

Para fortalecer procesos de toma de decisiones relacionados con la gestión de la provisión de servicios ecosistémicos en sistemas productivos agropecuarios, es necesario diseñar y adoptar instrumentos de política coherentes con dicha gestión. La cuenca media del río Otún es de importancia por la provisión del recurso hídrico, entre otros servicios ecosistémicos; en esta zona, el principal uso productivo son los agroecosistemas cebolleros. A partir de un trabajo participativo, se diseñó un sistema de instrumentos de política orientados a la reconversión agroecológica. Como punto de partida, se ofrece un conjunto de instrumentos institucionales en apoyo a la investigación aplicada en cebolla limpia, un instrumento de capacitación y acciones complementarias.

Palabras claves: *Allium fistulosum*; servicios ecosistémicos; política ambiental; desarrollo económico; proyectos de desarrollo; gestión; toma de decisiones; agroecosistemas; sistemas productivos; Río Otún; Colombia.

Summary

Policy instruments for ecosystem-service management in onion plantations in Otun River watershed, Colombia. The strengthening of decision-making processes related to the provision of ecosystem services in production systems depends on policy instruments well designed. Otun River watershed is an important source of water, among other ecosystem services. In this region, the main productive land use is onion cultivation. By means of a participative assessment, a system of policy instruments for agro-ecological conversion was designed, taking as a starting point a series of institutional instruments based on applied research for sustainable onion cultivation, a capacity-building tool, and other complementary actions.

Keywords: *Allium fistulosum*; ecosystems-services; environmental policies; economic development; development projects; management; decision making; agroecosystems; production systems; Otún river; Colombia.

Introducción

La supervivencia de los seres humanos en el planeta depende, en buena medida, de los servicios ecosistémicos; a la vez, la provisión de estos servicios depende del manejo que se haga de los ecosistemas. En particular, las actividades agropecuarias tienen formas esenciales de interdependencia y un papel fundamental en los impactos. Las actividades agrícolas, por ejemplo, dependen de servicios como fertilidad, polinización, agua para riego, todos los cuales afectan tanto al agroecosistema como a los ecosistemas naturales vinculados. Esta relación refleja la necesidad de generar herramientas que ayuden a disminuir las externalidades negativas sobre el sistema en general. Los instrumentos de política intersectorial se identifican, entonces, como

herramientas que posibilitan la incidencia en los procesos de toma de decisiones por parte de los actores vinculados con los servicios ecosistémicos. Este estudio presenta el desarrollo metodológico que llevó a una propuesta de instrumentos de política para incidir en la toma de decisiones en sistemas productivos cebolleros de la cuenca media alta del río Otún, departamento de Risaralda, Colombia.

La construcción de la propuesta conjugó elementos cualitativos y cuantitativos de los enfoques de investigación, haciendo uso de herramientas de economía institucional, ambiental y ecológica. La ruta metodológica se inició con la caracterización de la zona, identificación de impactos atribuibles a los sistemas productivos que inciden en los servicios ecosistémicos y la selec-

ción y priorización de un sistema productivo. Posteriormente, se evaluaron los instrumentos de política actuales y se identificaron nuevos instrumentos; se hizo la caracterización socioeconómica del sistema productivo priorizado y el análisis institucional y económico ligado al sistema de producción; se identificaron alternativas de reconversión que permitieran mitigar los impactos negativos sobre los servicios y, finalmente, se identificó un sistema de indicadores de seguimiento y monitoreo. Durante todo el proceso se consultaron 101 actores: 26 a través de talleres, 58 a través de entrevistas semiestructuradas y 17 a través de una herramienta de planificación predial. Entre los actores consultados hubo funcionarios de centros de investigación, de la empresa prestadora del servicio de

agua potable -Aguas y Aguas, de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda- CARDER, productores de cebolla, actores rurales, gobernaciones, alcaldías, gremios, sociedad civil y universidades.

La cuenca del río Otún abarca una superficie de 480,61 km². Está localizada en el flanco occidental de la Cordillera Central, en el departamento de Risaralda, y comprende los municipios de Pereira, Santa Rosa de Cabal, Dosquebradas y Marsella. En ella habitan 373.911 personas, 53% ubicados en Pereira, 46% en Dosquebradas y el 1% en Santa Rosa de Cabal y Marsella (CARDER-PNN 2008). En la cuenca media alta, las actividades productivas agrícolas predominantes son pasturas manejadas, café, cebolla larga y bosque plantado.

Los ecosistemas presentes proveen gran cantidad de servicios ecosistémicos, entre los que se destacan la provisión de agua para actividades productivas, para consumo humano y recreación; provisión de energía eléctrica por medio de dos centrales hidroeléctricas; mantenimiento de diversidad biológica y genética y control y eliminación de desechos. Adicionalmente, dada la

diversidad de procesos ecosistémicos, la cuenca provee otros servicios ecosistémicos como: irrigación natural, mantenimiento de la calidad del aire, mantenimiento de clima favorable, amortiguación de crecientes e inundaciones, prevención de pérdida de suelo por escorrentía u otro proceso de remoción, mantenimiento de la productividad y conservación de suelos saludables, polinización de plantas y semillas, control de plagas y enfermedades, recursos para artesanías, disfrute de paisaje y naturaleza como inspiración, entre otros.

Resultados y discusión Identificación de instrumentos de política con impacto en los servicios ecosistémicos de sistemas productivos agropecuarios

Al inicio de la investigación, se construyó la línea base de instrumentos de política existentes. A partir de la misma se evidenció que en la región cafetera se ha avanzado en la implementación de instrumentos de política aplicados a proyectos que fomentan la conversión a sistemas productivos más amigables con los ecosistemas; no obstante, su implementación y ejecución suele

ser desarticulada y en temporalidades definidas que impiden la continuidad de los procesos. Los principales sistemas productivos impactados son el café, bananito, hortalizas, panela, frutales, plantas medicinales, guadua, flores tropicales y follajes, además de actividades productivas como la ganadería y procesos de reforestación (Guzmán y Palacios 2007a). En el Cuadro 1 se presentan los instrumentos económicos con incidencia en la región. Otros instrumentos identificados incluyen el apoyo puntual de diferentes instituciones a procesos de producción limpia, a través de investigación, capacitación, compra de equipos, incentivos de mercado y generación de tecnologías. Entre esas instituciones están CARDER, gobernaciones, alcaldías, Federación Nacional de Cafeteros, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y universidades.

Priorización y selección del sistema productivo

Mediante consultas participativas, se identificaron los problemas atribuidos a los sistemas productivos que afectan los servicios ecosistémicos; también se identificaron los beneficios que ofrece la provisión de dichos servicios a los agroecosistemas de la región. Una vez identificadas las actividades productivas con mayor incidencia negativa sobre la funcionalidad ecosistémica -y por tanto, sobre la provisión de servicios-, se seleccionó y priorizó el sistema productivo de la cebolla al que se le atribuyeron cuatro problemáticas principales: pérdida de cobertura natural, incidencia en la calidad del agua, degradación de ecosistemas acuáticos y de la calidad del suelo (Guzmán y Palacios 2007b).

En consultas con productores de cebolla, se identificaron los principales problemas del sistema productivo cebollero que inciden en los servicios ecosistémicos. En orden de prioridad, los producto-

Cuadro 1. Instrumentos económicos con impacto en la cuenca media alta del río Otún

Instrumento	Observaciones
Pago por servicio ambiental	Proyecto CIPAV de reconversión ganadera
Compra de predios	Principalmente para protección de cuencas con opción de aprovechamiento comercial
Certificados de mecanismos de desarrollo limpio	El proyecto PROCUENCA ya los ha puesto en el mercado, pero aún no han logrado ninguna negociación
Exención predial	Funciona en Armenia y Manizales, sin embargo el número de solicitudes es bajo
Certificado de incentivo forestal	Algunos productores y empresas han tenido acceso a este instrumento. Se reconoce como una herramienta importante para realizar labores de conservación, pero que es insuficiente porque los montos son bajos.
Tasas retributivas	Cobradas por las corporaciones autónomas regionales; CARDER especialmente ha avanzado en el cobro y reinversión.
Apoyo a la certificación	Convenio de certificación entre la Cámara de Comercio y Corporación Colombia Internacional para productores de bananito y hortalizas; impulsado desde CARDER.
Sellos	Particularmente en café (USCAPE y Rain Forest), adquiridos por los productores de manera voluntaria.

Fuente: Guzmán y Palacios (2007a).

res identificaron: i) falta de apoyo institucional, ii) contaminación, iii) desconocimiento de alternativas productivas sostenibles, iv) bajos precios, v) baja participación de los actores, vi) manejo insostenible de recursos naturales, vii) uso de plaguicidas necesario pero inadecuado, y viii) manejo inadecuado de desechos (empaques y residuos de cosecha) (Guzmán y Palacios 2007b).

Caracterización del sistema productivo de la cebolla

De acuerdo con las evaluaciones agropecuarias, la cebolla junca (*Allium fistulosum*) ocupó en el año 2007, 816 ha distribuidas entre los municipios de Pereira, Santa Rosa de Cabal y Guática (Minagricultura 2009). Las consultas hechas en la zona y los análisis SIG realizados para esta investigación permiten aseverar que la cuenca del río Otún contribuye con alrededor del 30% de esta área (314 ha) en cinco núcleos productivos: Cedralito, Plan del Manzano, El Manzano, La María y La Bella (Fig. 1).

La mayoría de las labores productivas se hacen manualmente. El morfotipo más usado es la cebolla pereirana, aunque también se reconocen otros como pasteluna, veleña y pastusa. Las plantaciones se establecen a favor de la pendiente en cualquier época del año pero con preferencia por la época seca. La base de la fertilización es la gallinaza cruda combinada con fertilización química, sin tomar en cuenta los requerimientos del suelo. El control de arvenses, plagas y enfermedades se hace con insumos químicos y la cosecha se hace deshijando cada dos o tres meses. Prácticas como la asociación y rotación son usadas solo marginalmente.

La cebolla que se produce en Otún es altamente demandante de insumos químicos. Las casas de agroquímicos son las que ofrecen asesoría técnica y los productores no conocen alternativas diferentes, como la producción limpia u otra que optimice el uso de insumos internos y externos. En general, el reconocimiento de insectos o

plantas benéficas es inexistente; el manejo actual puede estar generando impactos de tipo ambiental que, según CARDER-PNN (2008), debieran ser dimensionados y manejados sin afectar las condiciones socioeconómicas de la región, toda vez que la cebolla es el eje económico de la población en la cuenca media alta del río Otún. La percepción de los actores sobre las relaciones que se dan en un agroecosistema de cebolla típico en la cuenca media del Otún se esquematiza en la Fig. 2. Se describen las relaciones funcionales al cultivo (verde), las interacciones de doble vía (amarillo) y las relaciones neutras con el cultivo (morado).

Análisis institucional

Se estima que la producción está en manos de unos 185 productores en alrededor de 80 predios; la diferencia obedece a que la producción ocurre en predios cultivados por propietarios de tierra, predios arrendados y predios con presencia de aparceros con diferentes nive-

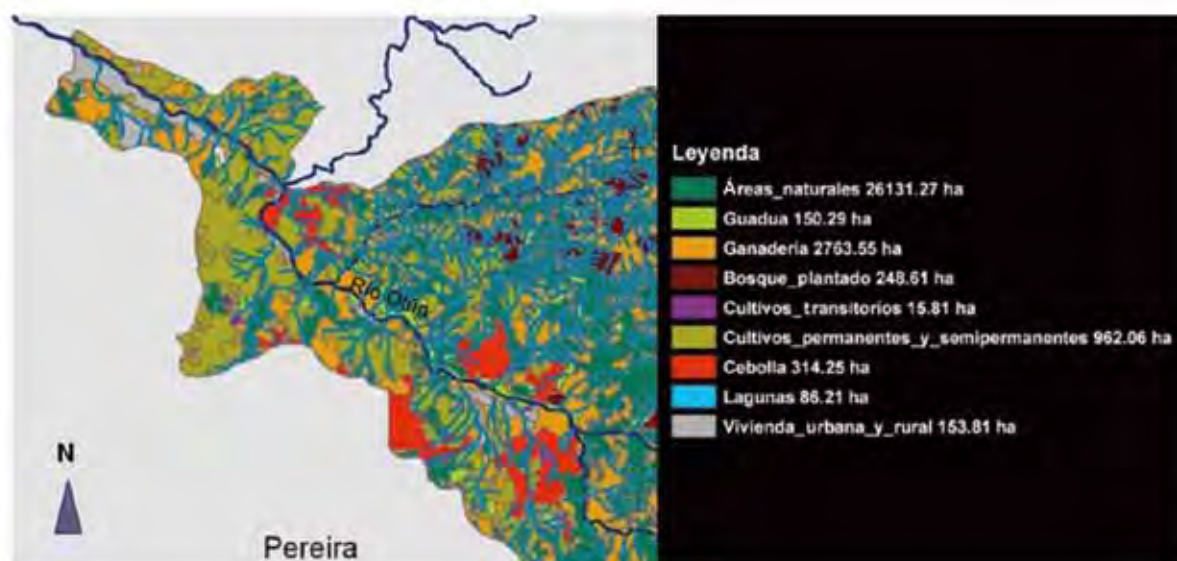


Figura 1. Núcleos productivos de cebolla en la cuenca media del río Otún

Fuente: Según estimaciones de Echeverri para esta investigación, Unidad SIG CIEBREG

les de autonomía³. En la Fig. 3 se esquematiza el análisis de actores con visión de cadena. En el sistema productivo de cebolla larga se identificó el uso de reglas para: i) definir áreas sembradas, establecidas en buena parte por la Asociación de Cebolleros de Pereira; ii) reglas para aplicar agroinsumos, establecidas por los grandes productores o por los administradores y en vigor solo para los aparceros con autonomía restringida; iii) reglas para el acopio y comercialización, establecidas por la Asociación de Cebolleros de Pereira, institución que ha adquirido la exclusividad del acopio y que delega la comercialización.

Alternativas de reconversión para mitigar impactos negativos sobre los servicios ecosistémicos

Con base en el modelo general de impactos ambientales de los sistemas productivos agropecuarios propuesto por León y Palacios (2003) y Rincón y Palacios-Lozano (2008), se analizaron los impactos potenciales del sistema productivo que pueden afectar la provisión de servicios ecosistémicos (Cuadro 2). Con el fin de evaluar las oportunidades de reconversión, se realizó una evaluación agroecológica rápida a partir de la herramienta para la planificación predial con consideraciones de biodiversidad (Cammaert et ál. 2008). La aplicación de dicha herramienta permitió evidenciar el estado de las prácticas de manejo y sus respectivos impactos, a partir de las cuales se proponen estrategias de reconversión.

Alternativas de reconversión

Mediante consultas realizadas en el marco de esta investigación se deter-

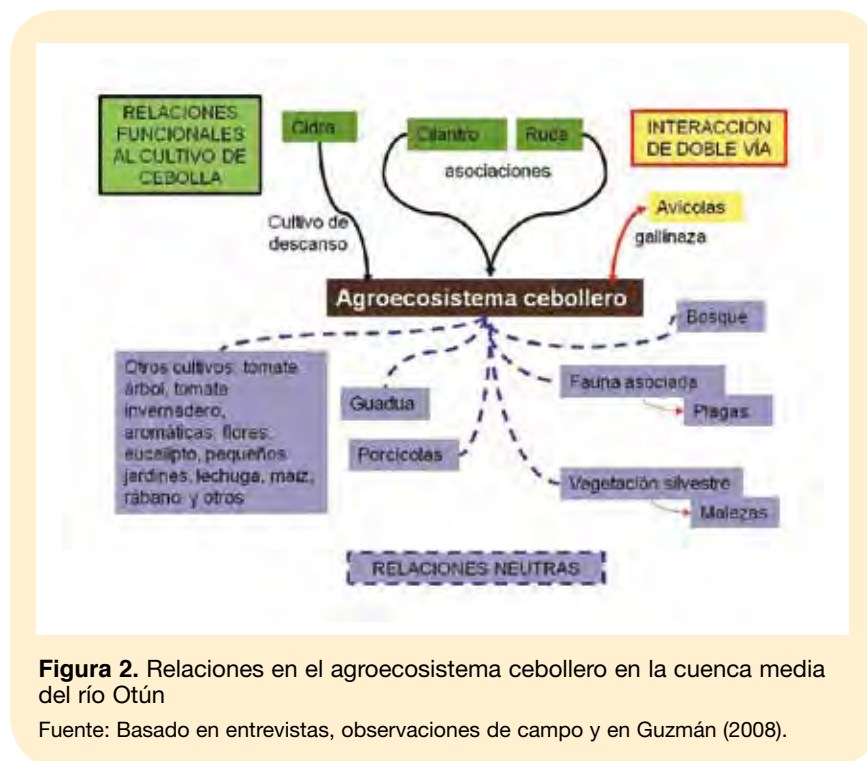


Figura 2. Relaciones en el agroecosistema cebollero en la cuenca media del río Otún

Fuente: Basado en entrevistas, observaciones de campo y en Guzmán (2008).

minó que las experiencias en cebolla agroecológica comercial son marginales y poco documentadas⁴. Se identificaron siembras agroecológicas en huertas caseras o en pequeña escala. En la cuenca del río Otún se destaca la experiencia de Los Genaros donde, según la evaluación agroecológica rápida practicada, han incorporado arreglos altamente agrobiodiversos. En cebolla limpia se reconocen los esfuerzos realizados en Tota, con el apoyo investigativo de Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Dos experiencias, una en Ocaña (Santander) y otra en Amagá (Antioquia) ofrecen la única información disponible de referencia para el desarrollo de la propuesta de instrumentos de política⁵ (Guzmán 2008).

Construcción de un portafolio de instrumentos de política

A partir de consultas con actores regionales⁶ se propusieron los siguientes instrumentos nuevos como alternativas para la gestión con los actores productivos: i) incentivo a la reconversión ambiental, ii) incentivo a la conservación, iii) pago por servicios ambientales, iv) incentivo de fomento al agroturismo, v) certificación de la gallinaza. Asimismo, se recomendó realizar ajustes a los instrumentos existentes; entre ellos: i) ampliar la exención predial, ii) ampliar la tasa retributiva para fuentes difusas, iii) reglamentar la destinación de tasas retributivas. Por su parte, los productores de cebolla propusieron instrumentos de política orientados a: i) conseguir

³ Las estimaciones de productores y predios se realizan a partir de entrevistas en campo y análisis SIG

⁴ Dichas consultas se hicieron a productores de cebolla, representantes de instituciones como CORPOICA, IICA, IGAC, UNISARC, CARDER Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corporación Colombia Internacional, Universidad Jorge Tadeo Lozano, así como en las bibliotecas o centros de documentación de la Universidad Tecnológica de Pereira, Pontificia Universidad Javeriana, IAvH, UNISARC y CORPOICA y búsquedas en internet.

⁵ La disponibilidad de una única fuente, si bien se constituye en un elemento restrictivo, evidencia las necesidades para superar las barreras, y por tanto, la base de la propuesta de instrumentos de política.

⁶ Representantes de instituciones de la región cafetera, como CARDER, Universidad Tecnológica de Pereira, Pontificia Universidad Javeriana, CIPAV y Aguas y Aguas.

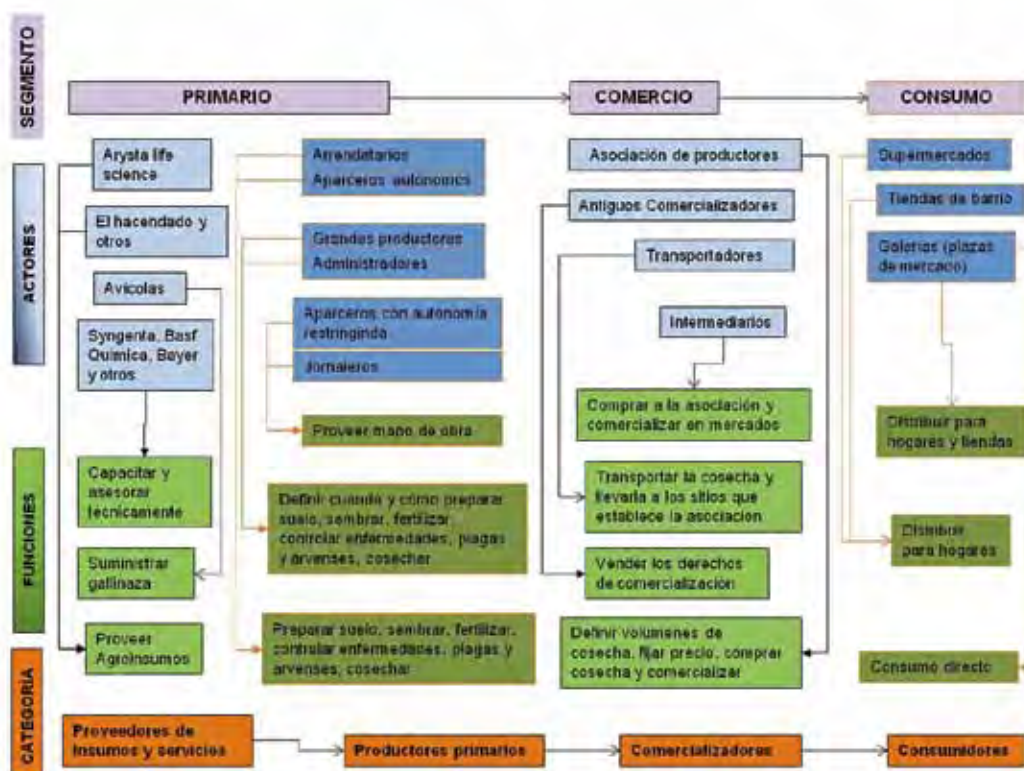


Figura 3. Esquematización de la cadena productiva de la cebolla en la cuenca media del río Otún

En morado es el eslabón de la cadena en el que se inserta el actor; en azul los actores identificados; en verde las funciones de cada uno en el sistema productivo y en naranja la categoría de acuerdo con la función.

Fuente: Guzmán (2008).

Cuadro 2. Impactos potenciales del sistema productivo de la cebolla sobre los servicios ecosistémicos

Componente biótico y abiótico	Impacto potencial
Agua	Cambios en la turbidez del agua por ganancia de partículas en suspensión Contaminación de aguas subterráneas y posteriormente del río Otún por lixiviación de sustancias agregadas al suelo por el agroecosistema.
Aire	Cambios en la calidad del aire por malos olores atribuibles al cultivo de cebolla, específicamente por el uso de gallinaza, insumos químicos y la cebolla en sí misma.
Biodiversidad asociada y planificada	Eliminación o reducción de plantas arvenses por aplicaciones de herbicidas, arranque manual o enterramiento. Eliminación y/o reducción de cultivos asociados y de la práctica de rotación por las exigencias del monocultivo de cebolla, lo cual a su vez puede conllevar a la desaparición de especies. Reducción y/o eliminación de biota aérea y terrestre como consecuencia de aplicaciones de plaguicidas (insecticidas, fungicidas). Aumento de moscas Destrucción de hábitats, relacionado con la expansión del cultivo, lo cual en su momento se ha hecho combinando prácticas como tala y quema. Eliminación de vegetación e insectos benéficos (IDEA).
Suelo	Contaminación por agroquímicos persistencia de subproductos tóxicos Procesos erosivos Desequilibrio en poblaciones edáficas (Rincón y Palacios 2008) Alteración de los niveles de nutrientes y equilibrios iónicos por aplicación de fertilizantes (Rincón 2008)

Fuente: Basado en Rincón y Palacios-Lozano (2008) y León y Palacios-Lozano (2003).

Cuadro 3. Evaluación agroecológica rápida

Práctica evaluada	Estado promedio de la práctica (17 fincas)	Impactos atribuidos en la HPP
Rotación de cultivos	Con rotación máxima de dos cultivos	Multiplicación de la incidencia de malezas, plagas y enfermedades por la simplificación del monocultivo, aumento de riesgos financieros. Empobrecimiento de la fertilidad del suelo, aumento de la erosión
Asociación de cultivos	Monocultivo	Se puede presentar aumento de malezas molestas debido a la falta de sombra y de relaciones alelopáticas, se desbalancea la disponibilidad de nutrientes del suelo
Barreras de vegetación	Cercas muertas, artificiales, postes de madera o concreto	Baja disponibilidad de madera y especies vegetales para construcción o reparación en finca y alimentación de animales
Cobertura vegetal viva o muerta	Suelos parcialmente enmalezados y cubiertos	El suelo se degrada y se empobrece. Hay pérdida de nutrientes y se disminuye la actividad microbiana. Se presenta erosión
Corredores biológicos	Sin corredores biológicos	Se pierde la posibilidad de favorecer el hábitat de algunos animales y especies nativas
Huertos y jardines	Baja presencia de huertos y jardines	Baja contribución de vegetales en la finca para la alimentación de la familia y de especies que ayuden al autocuidado en salud
Fuentes de agua	Fuentes de agua parcialmente protegidas por vegetación natural	Se favorece la contaminación del recurso hídrico, con el tiempo se disminuye el abastecimiento desde las fuentes de agua
Uso de abonos y fertilizantes	Uso combinado de abonos orgánicos y químicos	Incremento en costos. Modificación de las propiedades biológicas y físicas del suelo
Manejo de plagas y enfermedades con insumos químicos	No se aplican prácticas de control biológico. No se manejan plantas atrayentes ni repelentes. Se aplican insecticidas y fungicidas químicos en forma indiscriminada	Pueden presentarse problemas de salud, pueden dañar o matar organismos benéficos como aves, abejas, peces y enemigos naturales de plagas. Contaminación de cauces de agua. Pérdida de fertilidad del suelo
Áreas protegidas dentro de la finca	Se presenta una protección intermedia de los bosques nativos, guaduales	La flora y la fauna nativa no hacen parte de la estructura del predio. Desaparecen los servicios ambientales que proveen los bosques
Labranza de conservación	Uso de azadón	Si bien la presión de maquinaria es mínima, se siembra a favor de la pendiente, se usan herbicidas y los suelos permanecen una parte del año descubiertos
Banco de semillas	Disponibilidad de menos de cinco variedades de semilla	Dependencia para la compra de semillas, incremento en costos de alimentación, pérdida de especies vegetales y poca disponibilidad de variedades. Pérdida del control de los recursos del productor
Diversidad de animales	De 0 a 2 especies y razas animales	Limitación de la producción de carne en finca, baja diversificación de ingresos

Fuente: Basado en Cammaert et ál. (2008)

apoyo económico y financiero para la producción primaria y la comercialización, ii) conseguir asesoría en tecnologías limpias, iii) mejorar la sensibilización sobre temas ambientales (Guzmán 2008).

Una vez finalizado el análisis institucional, y evaluadas las alternativas tecnológicas para la viabilidad de los instrumentos propuestos y la intencionalidad institucional, se identificaron como prioritarios los siguientes instrumentos de política:

■ *Incentivo de financiamiento a la investigación en cebolla limpia:* teniendo en cuenta que los avances en la implementación de sistemas productivos de cebolla limpia en el país son marginales, se considera que el primer instrumento debe

estar encaminado a desarrollar investigación que valide localmente la viabilidad socioeconómica, productiva y ecológica de la cebolla limpia. Se parte de la premisa de que la cebolla limpia genera efectos ambientales menores que la cebolla convencional y, por lo tanto, tiene la capacidad de disminuir la presión sobre la provisión de servicios ecosistémicos en los agroecosistemas. Se propone implementar parcelas piloto experimentales con una duración mínima de dos años, teniendo en cuenta que el ciclo productivo de la cebolla es de tres meses (Guzmán 2008).

■ *Incentivo a la capacitación:* los actores consultados acusan falta de apoyo institucional; la poca

asistencia técnica recibida proviene de las casas de agroquímicos; no se conoce ninguna experiencia comercial de cebolla limpia exitosa, por lo cual los actores se muestran reticentes a posibles cambios en el sistema productivo. Sería conveniente implementar un proceso con participación de los actores como estrategia motivadora. Este incentivo da continuidad al proceso iniciado con el incentivo anterior y busca generalizar en la comunidad los resultados de la incorporación de prácticas para la producción más limpia. Se propone que la capacitación en la cuenca haga énfasis en la provisión de servicios ecosistémicos, en la sostenibilidad económica

de las parcelas experimentales y en la diversificación de acciones para disminuir la vulnerabilidad de depender de un solo cultivo, a fin de crear capacidades locales y motivar cambios similares en otras fincas (Guzmán 2008).

- **Gestión institucional:** como apoyo a la gestión institucional por parte de las entidades ambientales y productivas regionales, se propone un sistema de indicadores que dé seguimiento a los cambios propuestos en cuatro subsistemas: el biofísico, el de aspiraciones, necesidades y requerimientos, el tecnológico y el económico (Crizón et ál. 2002).

Conclusiones

La caracterización del sistema productivo de la cebolla permitió concluir que la provisión de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Otún es afectada por el cultivo, y que es necesario identificar alternativas que mitiguen dichos impactos. La baja oferta de alternativas determinó la necesidad de iniciar con el desarrollo de investigación en la zona, a fin de incorporar prácticas agroecológicas en el sistema productivo y corroborar la viabilidad social, ecológica y económica de dicha adopción. Para el desarrollo de las propuestas fue determinante

el trabajo en campo; en particular, el que permitió reconocer el sistema y sus reglas de juego. Adicionalmente, el proceso ganó legitimidad en la zona en la medida en que consultó un número importante de actores locales. Como resultado de la dinámica participativa se propone un sistema de instrumentos de política y su respectivo sistema de indicadores, a fin de mitigar los impactos y corroborar la pertinencia de las acciones sugeridas. 

Literatura citada

- Cammaert, C; Palacios-Lozano, MT; Calle, Z; Arango, H. 2008. Finca Biodiversa – herramienta de planificación predial con consideraciones de biodiversidad. Bogotá, Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- CARDER-PNN (Corporación Autónoma Regional de Risaralda - Parques Naturales Nacionales). 2008. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Otún. Pereira, Colombia. 129 p.
- Crizón, I; Galvis, N; Moure, A; Etter, A. 2002. Guía metodológica para la evaluación de la sostenibilidad en sistemas de producción andinos rurales. Bogotá, Colombia, Proyecto conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los Andes colombianos, Proyecto GEF, Banco Mundial, Instituto Alexander von Humboldt. 29 p.
- Guzmán, SL. 2008. Diseño de instrumento de política para la reconversión agroecológica de sistemas productivos en la cuenca del río Otún con énfasis en sistemas mixtos y cebolleros. Bogotá, Colombia, CIEBREG, Instituto Alexander von Humboldt, Grupo Políticas intersectoriales. 74 p.
- Guzmán, SL; Palacios, MT. 2007a. Taller para la identificación de instrumentos de política para la gestión de bienes y servicios ambientales en sistemas productivos en la cuenca del Río Otún; ayuda de memoria. Bogotá, Colombia, CIEBREG, Instituto Alexander von Humboldt, Grupo Políticas intersectoriales. 12 p.
- Guzmán, SL; Palacios, MT. 2007b. Línea base de instrumentos de política para gestionar bienes y servicios ambientales en sistemas productivos. Bogotá, Colombia, CIEBREG, Instituto Alexander von Humboldt, Grupo Políticas Intersectoriales.
- León, T; Palacios-Lozano, MT. (Eds.). 2003. Incorporación de consideraciones de biodiversidad en la política sectorial agropecuaria. Bogotá, Colombia, Proyecto Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los Andes colombianos, Proyecto GEF, Banco Mundial, IDEA, Universidad Nacional de Colombia, Instituto Alexander von Humboldt. Documento de trabajo.
- Rincón, SA; Palacios-Lozano, MT. 2008. Evaluación ambiental estratégica de políticas, planes y programas de biocombustibles en Colombia con énfasis en biodiversidad: Caracterización e implicaciones de la amigabilidad ambiental de los sistemas productivos. Bogotá, Colombia, Instituto Alexander von Humboldt, MAVDT, FONADE. Grupo de Políticas Intersectoriales. Programa de Política y Legislación, Informe de Prestación de Servicios No. 07-07-487-0531PS. 80 p.
- Minagricultura (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2009. Área cosechada, producción y rendimiento de cebolla junca, 2006-2008. Cifras con base en evaluaciones agropecuarias (en línea). Consultado 22 oct. 2009. Disponible en www.agronet.gov.co/www/htm3b/excepcionesNuke/cargaNet/netcarga16.aspx?cod=16&submit=Ver+Reporte&reporte=Producci%u00f3n+nacional+por+producto&file=2007816102236_20058417048_agronetevaarea-rendimientoyproduccionporproductoporagno.rpt&codigo=16&excepcion=1&fechaI=2006&producto=Cebolla+junca&fechaF=2008

Alianzas para la sostenibilidad y la gestión ambiental de los territorios en el Bosque Modelo Risaralda

John Mario Rodríguez, M.Sc¹

En el Eje Cafetero colombiano se ha hecho un esfuerzo junto con la sociedad civil y sus formas de organización que, aunado a los realizados por otras instituciones, permite sentar las bases de procesos más sostenibles. Dicho esfuerzo se adapta bastante bien a lo propuesto para procesos integrales de servicios ambientales. Las alianzas sociales construidas para dar sostenibilidad a esos procesos de servicios ecosistémicos abarcan diferentes tipos de organizaciones.

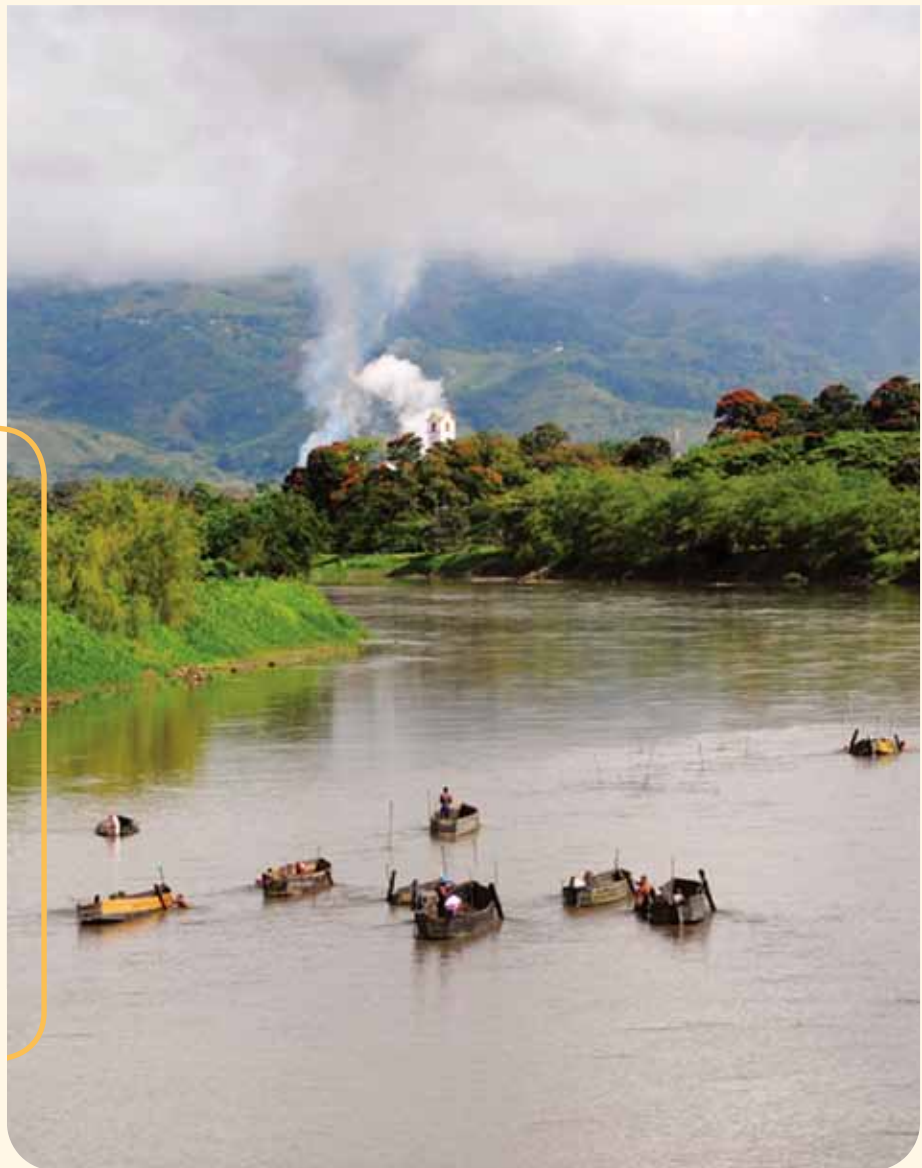


Foto: Neil Palmer.

¹ Director CIEBREG. Proyecto Valoración de Bienes y Servicios Ambientales basados en la Biodiversidad en los Andes del Norte. Profesor Titular Universidad Tecnológica de Pereira. johnmariorodriguez@yahoo.com.ar

Resumen

Un informe de desarrollo humano en la Ecorregión Cafetera Colombiana elaborado por el PNUD en el año 2004 evidenció que el desarrollo de la ecorregión había tenido un retroceso de diez años, explicado en buena medida por la crisis del sector rural ligado al café. Desde entonces, el CIEBREG ha venido desarrollando proyectos de valoración de servicios ecosistémicos en dos cuencas hidrográficas de la ecorregión cafetera. Mediante el enfoque ecosistémico se han impulsado procesos de valoración de los servicios ecosistémicos en las cuencas y se han promovido alianzas con actores institucionales y de la sociedad civil; asimismo, se desarrollan procesos de sostenibilidad en proyectos de mediano plazo que involucran a estos actores en ambas cuencas. En este artículo se describe el proceso de consolidación de alianzas, cuyos resultados más notorios han sido el Bosque Modelo Risaralda y los proyectos de servicios ecosistémicos en cuencas hidrográficas.

Palabras claves: Servicios ambientales; proyectos de desarrollo; alianzas; gestión ambiental; sostenibilidad; valoración ambiental; bosque modelo Risaralda; Colombia.

Summary

Alliance for environmental sustainability in Risaralda Model Forest, Colombia. In 2004, UNDP issued a report on human development in the Colombian coffee belt. It showed that development in the region had receded ten years due to the crisis suffered by the coffee production. Since then, CIEBREG has been developing projects for the assessment of ecosystem services in two watersheds. Using the ecosystem approach, environmental services offered by the watersheds are being assessed, and alliances among organizations and constituents are being promoted; also, mid-term projects with stakeholders from both watersheds are being developed. This paper describes the process followed to strengthen alliances, which most conspicuous results are the Risaralda Model Forest and the assessment of ecosystem services in watersheds.

Keywords: Environmental services; development projects; alliances; environmental management; sustainability; environmental valuation; model forest Risaralda; Colombia.

Introducción

El enfoque de gestión del paisaje es un elemento que debe ser incorporado en el fortalecimiento de propuestas de manejo de los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas boscosos. En este sentido, los programas que se implementan en cuencas hidrográficas del Eje Cafetero de Colombia incorporan este elemento y lo fortalecen al integrar la iniciativa Bosque Modelo Risaralda, gestionada por CIEBREG (Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos) y organizaciones locales, a través de los proyectos de pago por servicios ambientales. La apropiación de este enfoque partió del contexto predominante en el año 2004, el cual

fue fundamental y relevante para el desarrollo de la propuesta del CIEBREG, dado que la investigación del Centro está profundamente relacionada con las situaciones sociales y económicas predominantes en ese momento. Dichas situaciones fueron expuestas en el informe sobre desarrollo humano en el Eje Cafetero (PNUD 2004), el cual evidenció la reducción significativa en los indicadores de desarrollo humano y la pérdida de competitividad con respecto al promedio nacional. PNUD concluía que la ecorregión había tenido de un retroceso de diez años debido, en buena medida, a la crisis del sector rural ligado al café.

A pesar del deterioro de las condiciones sociales, económicas y políticas de la región, se contaba con

recursos naturales importantes en cualquier proceso de recuperación por su potencial en biodiversidad y servicios ecosistémicos. Se vio, entonces, la necesidad de investigar los servicios ecosistémicos ligados al sector rural (paisajes naturales y transformados) para poder influir en políticas y procesos en el Eje Cafetero. Es sabido que la biodiversidad y los servicios ecosistémicos son con frecuencia subvalorados y en muchas ocasiones segregados, ya que solo se valoriza cierta producción económica; esto ocurre con los servicios provenientes de bosques, que solo se valoran en tanto sean proveedores de recursos en sistemas de mercado (Ruiz-Pérez et ál. 2007). Por otra parte, los programas de servicios ecosistémicos y el pago

de los mismos son precarios y en la mayoría de los casos experimentales (Landell-Mills y Porras 2002). Ante este panorama, se ha visto la necesidad de realizar una valoración integral de los servicios ecosistémicos que, junto con la investigación básica y aplicada, es parte clave del enfoque sistémico de los servicios ambientales.

El éxito de este tipo de enfoques está en acompañar la investigación y la valoración con un tercer componente, el de políticas y herramientas para la conservación. En este sentido, queda claro que un proyecto de valoración de servicios ecosistémicos debe abordar los tres componentes y proveer, en la medida de sus capacidades y gobernabilidad, una red de alianzas para potenciarlos. Pero la situación de los servicios ecosistémicos es más compleja, porque involucra el papel de los gobiernos locales y la necesidad de demostrar el beneficio de la valoración y la adicionalidad de los programas de servicios ambientales (Landell-Mills y Porras 2002).

Los servicios ecosistémicos son el resultado de procesos naturales que inciden directamente en la protección, recuperación y mejoramiento del medio ambiente y cuyos efectos en la calidad de vida son tanto tangibles como intangibles (Palacios y Rodríguez 2009). Aunque algunos de los servicios ecosistémicos se han evaluado durante décadas, recientemente se ha empezado a usar un enfoque sistémico para evaluarlos y caracterizarlos, al establecerse la conexión entre los servicios y las funciones ecosistémicas (De Groot et ál. 2002). CIEBREG realizó esta evaluación en las cuencas de los ríos Otún y La Vieja para valorar los servicios ecosistémicos ligados a los componentes y funciones del ecosistema a través de grupos funcionales, y relacionarlos con gradientes altitudinales, diferentes sistemas productivos y condiciones económicas de las fincas.

El enfoque en el valor de los servicios ecosistémicos -y no en su control- es en sí mismo un nuevo paradigma que puede conducir al manejo más sostenible de los mismos (Campos et ál. 2005) e, incluso, a la generación de instrumentos y herramientas que complementen acciones de conservación. Este enfoque sistémico es necesario para maximizar el bienestar social en las cuencas donde se ofertan y demandan tales servicios (Sayer y Manginnis 2005), pero adicionalmente se debe contar con un enfoque de gestión del paisaje con el fin de evitar que el uso de los servicios de un ecosistema afecte la disponibilidad de servicios en otros (Campos et ál. 2005).

Fundamentos

En las dos cuencas, CIEBREG viene trabajando en la construcción de una red de alianzas, con la participación de la sociedad civil e institucional. La meta es proveer elementos para demostrar los beneficios de la valoración y explorar la posibilidad de introducir los beneficios de este enfoque en la conservación de la biodiversidad.

El CIEBREG acordó una serie de principios fundamentales a los que se circunscribieron las actividades del proyecto y los ejercicios de valoración integral (Fig. 1). A través de alianzas, acuerdos y cooperación, se han diseñado varios proyectos y programas que se realizarán a través de las corporaciones autónomas y los comités de ordenamiento en las dos cuencas hidrográficas con el fin de garantizar la continuidad de las propuestas y el impacto positivo en las políticas ambientales. La base ambiental recaudada por CIEBREG será vital en la implementación de estas propuestas.

El entorno institucional

Las dos cuencas de trabajo están inmersas, desde mucho antes de la llegada de nuestros investigadores, en procesos sociales y de sostenibilidad ambiental liderados por la comunidad, la empresa privada o la autoridad ambiental. La importancia de estos procesos ha sido reconocida por el Centro; de hecho, se han dado esfuerzos coordinados por articular el proyecto, sus resultados y el impacto esperado de la valoración

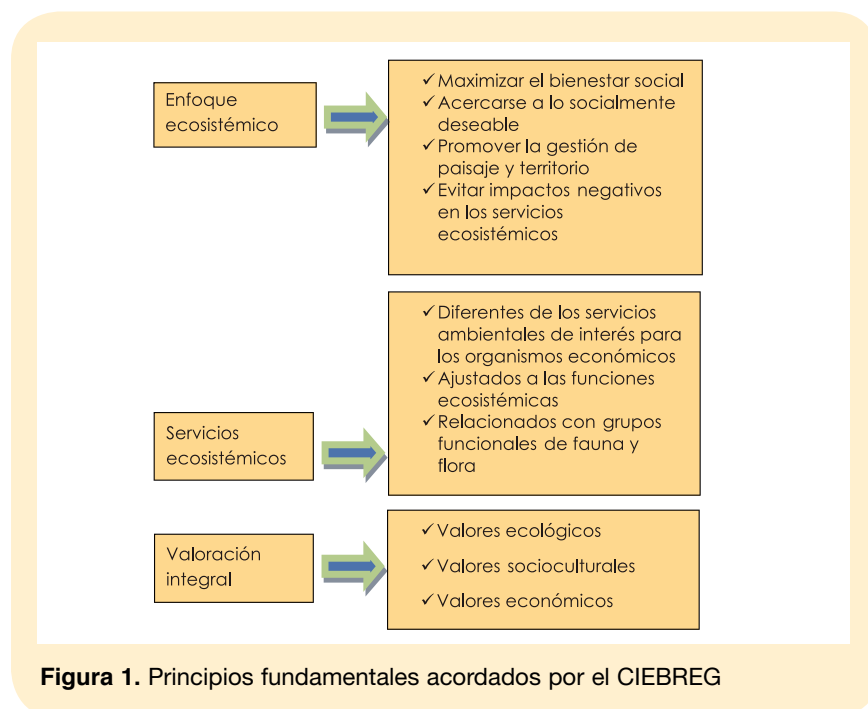


Figura 1. Principios fundamentales acordados por el CIEBREG

de servicios ambientales. La complementariedad entre iniciativas de conservación y la valoración de las mismas es ampliamente recomendada por evaluadores internacionales (Sánchez-Azofeifa et ál. 2007, Wunder et ál. 2007).

CIEBREG hace énfasis en la complementariedad de resultados y enfoques de las iniciativas institucionales de conservación local y regional y en la necesaria construcción de una red de alianzas (Fig. 2). En dicha red se cuenta con la participación de los organismos siguientes:

- Corporación Autónoma Regional de Risaralda, CARDER
- Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ
- Corporación Autónoma Regional del Valle, CVC
- Aguas y Aguas de Pereira
- Planes de Ordenamiento Ambiental de Cuencas, POMCA
- Mesa Ecorregional de Cambio Climático
- Proyecto Ecorregión
- Parques Nacionales
- Comité Técnico de Ecorregión
- Universidad Tecnológica de Pereira, UTP

Algunas de las acciones adelantadas con las instituciones mencionadas son:

1. *Acciones de consolidación en la cuenca del río Otún. Se han puesto en marcha y gestionado proyectos como:*

- Programa piloto de pago por servicios ambientales para la cuenca media del río Otún, basado en belleza escénica.
- Proyecto de pago por servicios ambientales de actividades de reconversión de cultivos de cebolla (*Allium fistulosum*) y prácticas amigables en la agricultura en la cuenca del río Otún.
- Proyecto de pago por servicios ambientales derivados de las áreas forestales protectoras en la cuenca media del río Otún.

Algunas de estas propuestas tienen el apoyo de diferentes orga-

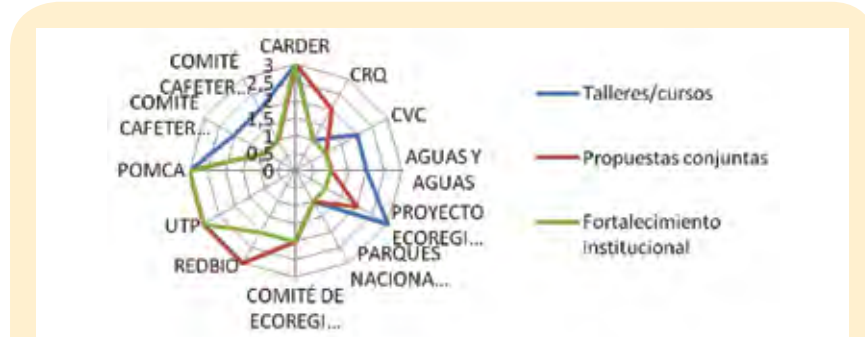


Figura 2. Las alianzas construidas por CIEBREG se materializan a través de diferentes iniciativas (académicas, de desarrollo, autoridad ambiental, de conservación) entre las que se destacan elementos institucionales vitales para el enfoque de servicios ambientales.

Niveles de cooperación: 1= bajo; 2= medio; 3= alto.

nismos como la ONG Patrimonio Natural, el Banco Mundial y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

2. *Acciones de consolidación en la cuenca del río La Vieja: Se ha apoyado la formulación de un portafolio de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio –MDL– para la mitigación y adaptación al cambio climático, para lo cual se han ejecutado proyectos tales como:*

- Formulación de un proyecto de MDL forestal en la Subregión 1 del departamento de Risaralda.
- Definición de las tierras de aptitud de uso elegibles para el diseño de proyectos MDL en el sector forestal
- Proyecto de fortalecimiento de la oficina de cambio climático.
- Los proyectos MDL se sustentan en datos generados en los trabajos de investigación del CIEBREG y han sido financiados por la CARDER, en una alianza con PROCUENCA, única organización en Colombia autorizada por la ONU para la venta de bonos de carbono.

El proyecto de almacenamiento de carbono se sustenta en datos de CIEBREG y es financiado por la CARDER, en una alianza con PROCUENCA, única organización en Colombia autorizada por la ONU para venta de bonos de carbono. El

proyecto definirá el “project idea note” para Risaralda.

3. *Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER).* Conscientes de la necesidad de fortalecer al decisor ambiental, se ha impulsado la creación del **primer grupo de investigación** en una corporación autónoma regional de Colombia. Esta actividad se planeó previendo futuras acciones de investigación y como fortalecimiento de las actuales acciones con CIEBREG y otros actores.
4. *Bosque Modelo Risaralda.* Se ha fortalecido la **gestión ambiental territorial** mediante trabajo conjunto con el CATIE, CARDER, Comité de Cafeteros de Risaralda y la Gobernación del Departamento de Risaralda. Así, se logró la aprobación del **Bosque Modelo Risaralda** como el primero de Colombia adscrito a la Red Iberoamericana de Bosques Modelo. Este bosque modelo es una iniciativa para el manejo sostenible del territorio y el paisaje. El proceso de conformación de alianzas (Grupo Gestor) fue mediado por un convenio de cooperación que permita definir un instrumento de política pública para lograr impactos positivos en el desarrollo de Risaralda. Dicho instrumento fue el Plan de gestión ambiental de Risaralda, aprobado

por la Asamblea Departamental como máximo órgano legislador departamental; este plan ha sido asumido como el modelo ambiental del territorio. El modelo de acción empleado se fundamentó en la credibilidad construida por años de trabajo conjunto entre instituciones y actores diversos, un aspecto que con frecuencia se subestima en los proyectos de investigación (Fig. 3).

5. *Comité Técnico de ECORREGIÓN*. Esta es una de las más importantes instancias de gestión ambiental en el eje cafetero, ya que alberga a **cinco corporaciones autónomas regionales** y a la **Red de universidades Alma Máter**. Las principales acciones de ECORREGIÓN tienen que ver con el fortalecimiento de:
 - La mesa ecorregional de cambio climático a partir de la base ambiental y de monitoreo construida por CIEBREG.
 - Las capacidades de adaptación al cambio climático; se realizaron un curso de alto nivel, dos seminarios científicos y un encuentro de difusión con la participación de CATIE, CIAT-CGIAR, CIEBREG, Oficina Nacional de Cambio Climático, MINAMBIENTE,

IDEAM, Congreso de la República, CARDER, Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad Libre, Gobernación de Risaralda.

El Comité técnico de ECORREGIÓN acogió a CIEBREG como el **coordinador del componente técnico-científico de la estrategia y mesa de cambio climático**.

El entorno social

La valoración ambiental de los servicios proveídos por los ecosistemas también considera las interacciones entre grupos, donde las **preferencias y decisiones** son parcial o totalmente un proceso social y donde se toma en cuenta el conocimiento común o tradicional (Farber et ál. 2002). De aquí que las relaciones entre los actores y los sistemas sociales que albergan el conocimiento tradicional campesino son importantes en el desarrollo de este tipo de proyectos.

La ciencia ha hecho un esfuerzo para reconocer y valorar los efectos de estas preferencias y decisiones a través de la internalización de las externalidades (Quintero y Estrada 2006, Rosa et ál. 2004). Se considera que una externalidad existe cuando la decisión de consumo y/o producción de un(os) individuo(s) se ve afectada por la decisión de con-

sumo y/o producción de otro(s), sin que estos últimos tomen en cuenta ese efecto; por ende, las decisiones también se relacionan con el capital natural proveído por los ecosistemas y con los servicios ambientales que se derivan de ese capital (van Noordwijk et ál. 2004, 2007).

El capital natural y los servicios de que disfrutaban las comunidades humanas se traducen en formas de uso del territorio (desarrollo territorial), ligadas al desarrollo sostenible. Ambos deben conjugar el desarrollo productivo con la necesidad de “*territorializar*” las sustentabilidad ambiental y social y, a la vez, “*sustentabilizar*” el desarrollo de la región (Guimaraes 2003). En suma, es evidente que en el proceso de valoración de los servicios ambientales o ecosistémicos, un proyecto de valoración debe trabajar de cerca con los actores y sus decisiones, y con los efectos de esas decisiones sobre los territorios.

En este sentido, en el eje cafetero colombiano se ha hecho un esfuerzo junto con la sociedad civil y sus formas de organización que, aunado a los realizados por otras instituciones, permite sentar las bases de procesos más sostenibles en las dos cuencas evaluadas. Dicho esfuerzo se adapta bastante bien a lo propuesto para procesos integrales de servicios ambientales (Fig. 4). Las alianzas sociales construidas para dar sostenibilidad a esos procesos de servicios ecosistémicos abarcan diferentes tipos de organizaciones (Fig. 5).

Conclusiones

La sostenibilidad de un proyecto de valoración de los servicios ecosistémicos solo se podrá garantizar si las instituciones y productores involucrados incorporan los aprendizajes, las metodologías, las herramientas y los procesos. En las instituciones y decisores, esto se evidenciará en las políticas de tipo ambiental que se logre potenciar; en el caso concreto que nos ocupa, la cantidad de acciones relacionadas con los servicios ambientales (y

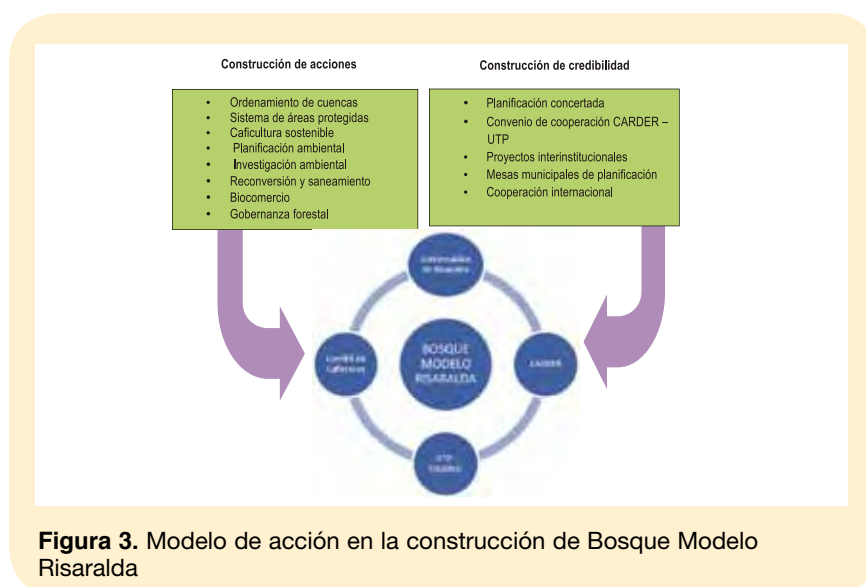


Figura 3. Modelo de acción en la construcción de Bosque Modelo Risaralda

su valoración) que las corporaciones autónomas regionales incorporen en sus planes trienales. En el caso de las empresas que utilizan recursos naturales de las cuencas es necesario lograr su incorporación a esquemas concertados para incentivar la conservación de la biodiversidad. En el caso de los productores, se debe promover la internalización de las externalidades. Los niveles de incorporación se hacen relevantes en la medida en que el principal actor del cambio hacia usos sostenibles de la biodiversidad e incorporación de buenas prácticas e internalización de externalidades es el productor, el habitante del predio, que bajo estrategias de valoración de servicios ecosistémicos se rodea de condiciones adecuadas para el desarrollo sostenible.

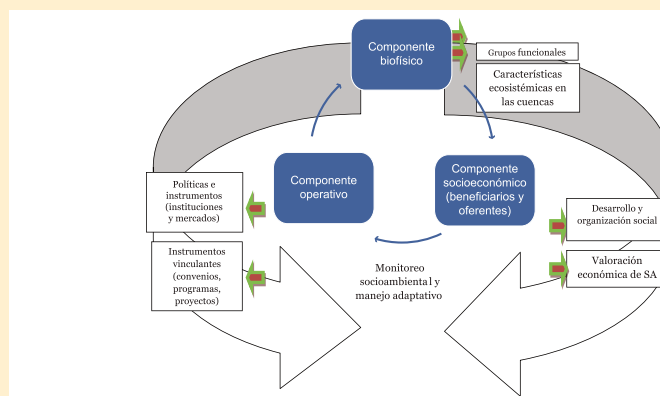


Figura 4. Componentes de procesos integrales de servicios ambientales donde se evidencian las relaciones entre estos y el desarrollo que se debe propiciar en cada uno de los componentes

Fuente: Adaptado de Campos et ál. (2005).

Literatura citada

- Campos, JJ; Alpízar, F; Louman, B; Parrota, J; Madrigal, R. 2005. An integrated approach to forest ecosystem services. In Alfaro, M; Kanninen, M; Lobovikok, M. (Eds.). Forest in the global balance-changing paradigms. Austria. IUFRO World Series Vol. 17.
- De Groot, RS; Wilson, MA; Boumans, RM. 2002. A typology for the classification, description and evaluation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41(3): 393-408.
- Farber, SC; Costanza, R; Wilson, MA. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics* 41(3): 375-392.
- Guimaraes, R. 2003. Tierra de sombras: Desafíos de la sustentabilidad y del desarrollo territorial y local ante la globalización corporativa. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 67. CEPAL, 62 p.
- Landell-Mills, N; Porras, TI. 2002. Silver bullets or fools gold? A global review of markets for forests environmental services and their impact on the poor. Londres. Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo IIED.
- Palacios, M.T.; Rodríguez, JM. 2009. Biodiversidad y servicios ambientales. Presentación al Taller de Planificación Proyectos PSA en cuenca del Río Otún. Santuario de Fauna y Flora Otún Quimbaya, Pereira, Colombia. CIEBREG.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2004. Eje

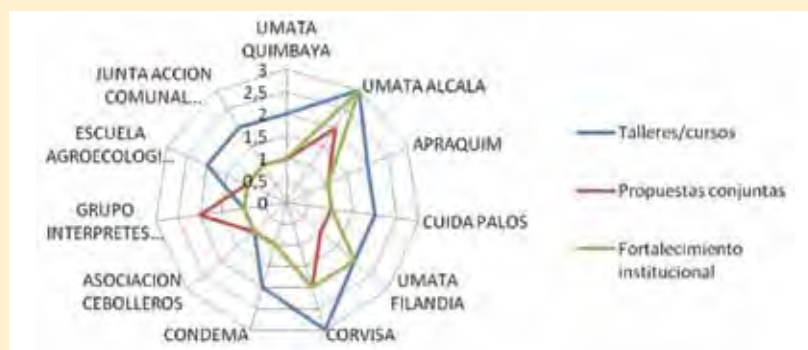


Figura 5. Alianzas sociales para la sostenibilidad

Las alianzas construidas por CIEBREG se materializan a través de diferentes iniciativas (ONG, asociaciones) entre las que se destacan elementos sociales vitales para el enfoque de servicios ambientales.

Niveles de cooperación: 1= bajo; 2= medio; 3= alto.

- Cafetero: un pacto por la región [Resumen Ejecutivo]. In Informe Regional de Desarrollo Humano. Bogotá, Colombia. 15 p.
- Quintero, M; Estrada, RD. 2006. Pago por servicios ambientales en América Latina y sus perspectivas en los Andes. Cali, Colombia, CIAT. Serie Contribuciones Sostenibles de los Andes No. 4. 96 p.
- Rosa, H; Kardel, S; Dimas, L. 2004. Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales; lecciones de las Américas y temas críticos para fortalecer estrategias comunitarias. San Salvador. PRISMA.
- Ruiz Pérez, M; García, F; Sayer, JA. 2007. Los servicios ambientales de los bosques. *Ecosistemas* 16 (3):81-90.
- Sánchez-Azofeifa, GA; Pfaff, A; Robalino, A; Boomhower, J. 2007. Payments for ecosystems services in Costa Rica: examining their intention, implementation and impact. *Conservation Biology* 21(5): 1165-1173.
- Van Noordwijk, M; Leimona, B; Emerton, L; Tomich, TP; Velarde, SJ; Kallesoe, MI; Sekher, M; Swallow, B. 2007. Criteria and indicators for environmental service compensation and reward mechanisms: realistic, voluntary, conditional and pro-poor. Nairobi, Kenya, World Agroforestry Centre. CES Scoping Study Issue Paper No. 2. ICRAF Working Paper no. 37. 64 p.
- Van Noordwijk, M; Poulsen, J; Ericksen, P. 2004. Filters, flows and fallacies: Quantifying off-site effects of land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 19-34.
- Wunder, S; Wertz-Kanounnikoff, S; Moreno-Sánchez, R. 2007. Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. México, Instituto Nacional de Ecología. Gaceta Ecológica 84-85:39-52.

Problemas de información ambiental para la toma de decisiones El caso de Risaralda, Colombia

Jorge Iván Orozco Betancurth¹

La revisión de los principales instrumentos de planificación ambiental global, nacional y regional permiten precisar los requerimientos de datos e información relevante para la toma de decisiones y para el seguimiento del proceso de desarrollo sostenible. Por las características de los usuarios de la información así como por la forma como se generan los datos, en Risaralda, las unidades de análisis correspondieron a unidades hidrográficas (cuencas), municipios, subregiones y áreas naturales protegidas.

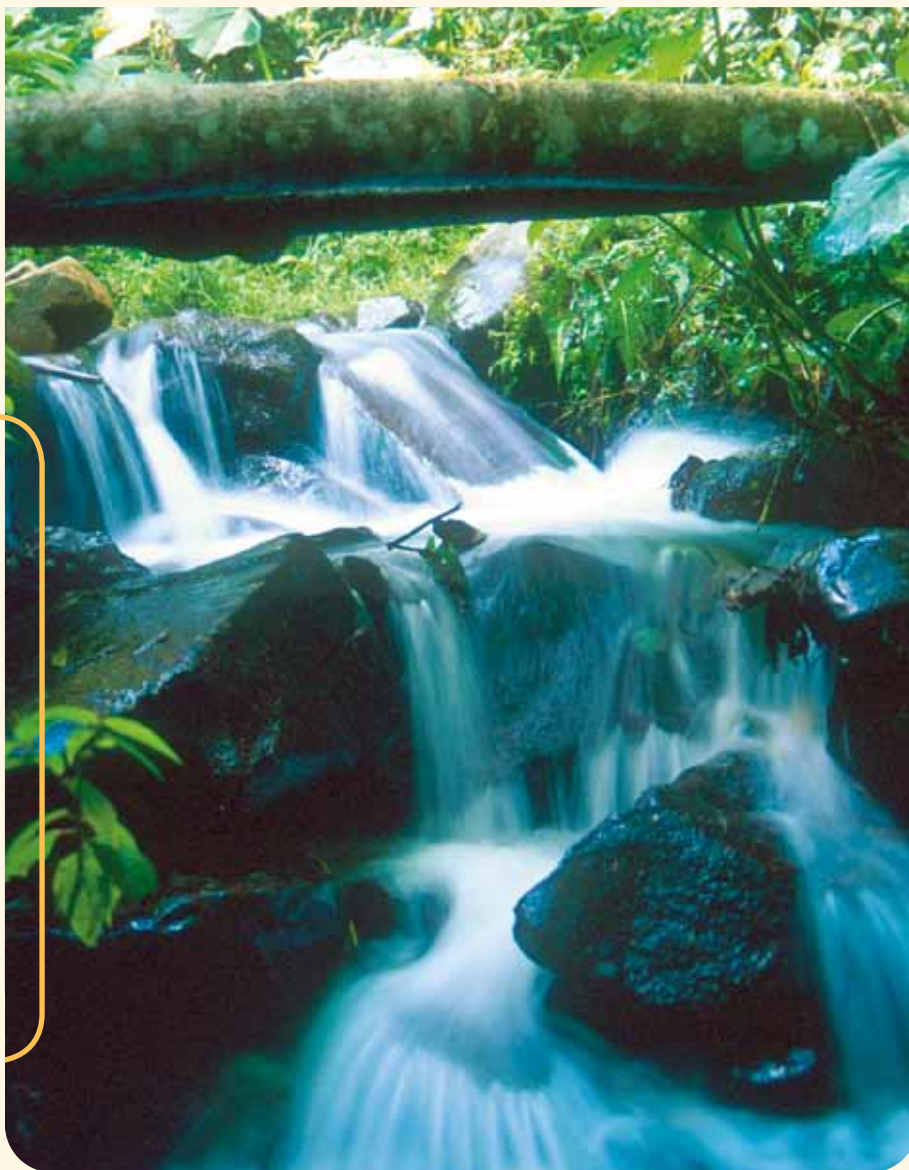


Foto: Áreas Naturales Protegidas.

¹ Profesional Especializado, Corporación Autónoma Regional de Risaralda- CARDER. Universidad Tecnológica de Pereira. Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT. jorozco@carder.gov.co

Resumen

Las corporaciones autónomas son autoridades ambientales regionales que deben coordinar la formulación de los planes de gestión ambiental en sus respectivas jurisdicciones a partir de una línea base ambiental. Sin embargo, esta tarea enfrenta diversas y complejas dificultades: ¿Cuál es la información mínima requerida para atender las necesidades del plan? ¿Dónde se encuentra? ¿Qué procesos institucionales proveen toda o parte de esa información? ¿Cuál es el estado de la información disponible? En este trabajo se describe el proceso metodológico para la elaboración del componente abiótico de la línea base ambiental de Risaralda. Se identificaron los temas abióticos relevantes, a partir de los cuales se precisaron los requerimientos de información para atender los compromisos fijados en agendas globales y nacionales, los indicadores mínimos ambientales y de gestión determinados por el Ministerio de Ambiente, y las necesidades básicas de los planes de ordenamiento municipal y de cuencas hidrográficas. Con base en esos insumos, se elaboró una tabla de contenido que satisfaga los requerimientos anotados para luego construir la línea base ambiental del componente abiótico. Un análisis crítico de la información empleada permitió reconocer serios vacíos.

Palabras claves: Medio ambiente; información; toma de decisiones; planificación; desarrollo sostenible; componente abiótico; línea base ambiental; gestión; cuencas hidrográficas; ordenación de los recursos; Risaralda, Colombia.

Summary

Information for environmental decision making in Risaralda, Colombia. The Colombian Regional Environmental Authorities have as a duty the formulation of regional environmental management plans, using as a starting point the environmental baseline. Nevertheless, this task faces diverse and complex difficulties: Which is the minimum information required to confront necessities? Where can it be found? What institutional processes can provide all or part of this information? What is the condition of the available information? This study describes the methodological process used to build up the non-biotic component on the Risaralda's environmental baseline. The most relevant non-biotic topics were used to determine the information requirements to attend commitments made with global summits and national agendas, the minimum environmental compliance and enforcement indicators established by the department of environment, and the basic needs of land use plans and watershed management plans. Using as a basis the information gathered, a content table that met the requirements mentioned for the environmental baseline was designed. A critical analysis of the information showed that there are serious gaps.

Keywords: Environment; information; decision making; planning; sustainable development; non-biotic component; environmental baseline; management; watersheds; resource management; Risaralda, Colombia.

Introducción

La problemática de la información para la toma de decisiones de carácter ambiental ha sido asociada, tanto en el ámbito nacional como internacional, no sólo con la falta de información sino con su manejo deficiente. La falta de datos, o la dificultad de acceso a los ya existentes, se identificaron en la Agenda 21 como problemas

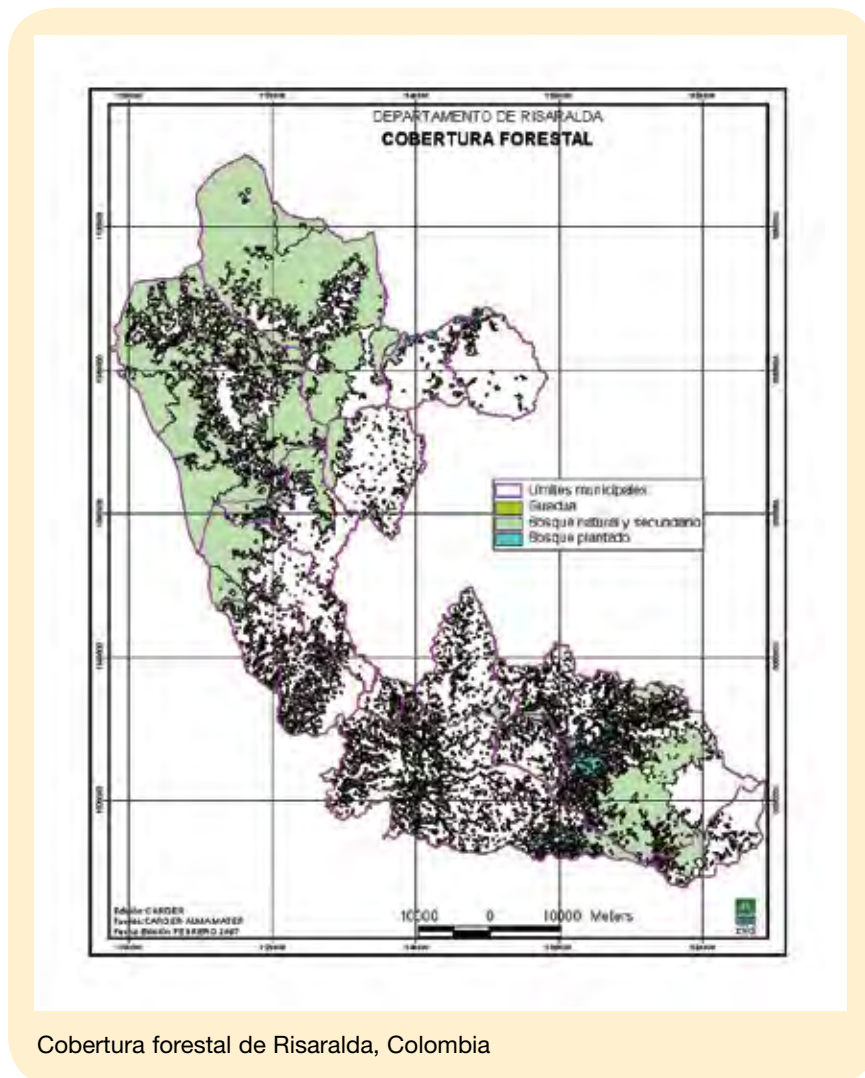
comunes a muchos países (ONU 1992); posteriormente, la Comisión Mundial de Desarrollo Sostenible identificó la recolección e integración de datos como un impedimento para lograr una visión apropiada del desarrollo sustentable (Quiroga 2001). En Colombia, los institutos de investigación sostienen que, pese a la tradición existente en materia ambiental, ha sido muy difícil lograr

avances significativos en el manejo de la información ambiental. Se reconoce que la principal dificultad no ha sido la falta de información, sino *la débil cultura en el uso de la misma como base para la toma de decisiones*. Esta debilidad se atribuye a razones tan diversas como la poca confiabilidad de la información existente, la multiplicidad de fuentes y metodologías, el difícil acceso en

razón de su heterogeneidad y dispersión, la deficiente sistematización y la multiplicidad de agentes con responsabilidades sobre la información ambiental. Al final, tales aspectos han determinado la poca utilidad práctica de la información a la hora de tomar decisiones (IDEAM 2002).

En el 2000, se suscribió un acuerdo para el desarrollo de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE 2000). En dicho acuerdo participaron el servicio geológico nacional (Ingeominas), junto con otros grandes productores y usuarios de información, como el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM) y el Instituto Geográfico (IGAC). Pese a la relevancia del acuerdo, poco se ha avanzado. La información básica y temática ofrecida no satisface los requerimientos de los procesos de planificación y gestión ambiental en Risaralda. Además de las deficiencias de escala, hay vacíos en su actualización y formatos ajenos a las posibilidades y demandas tecnológicas actuales. Las deficiencias incluyen la cartografía básica, información geológica, de suelos, erosión, hidrometeorológica. No se cuenta con protocolos para capturar y manejar información, ni con mecanismos para actualizar la pobre información existente (salvo la hidrológica). Esto compromete gravemente los intentos técnicamente planteados de ordenamiento territorial, municipal y de cuencas.

Colombia adoptó los principios del desarrollo sostenible como fundamento de su política ambiental. Como instrumento para la planificación ambiental regional, el gobierno colombiano estableció el denominado Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR). Este es un instrumento de planificación estratégico a largo plazo (no menor de diez años) que permite a las corporaciones autónomas regionales orientar su gestión e integrar las acciones



Cobertura forestal de Risaralda, Colombia

de todos los actores regionales, con el fin de que el proceso de desarrollo avance hacia la sostenibilidad (Decreto 1200 de 2004). No obstante, los problemas de información en las regiones limitan la elaboración de la línea base que debe sustentar los procesos de planificación ambiental y territorial definidos en el PGAR.

El primer capítulo del PGAR es el diagnóstico ambiental, el cual incluye un análisis integral de los componentes sociales, económicos, culturales y biofísicos que determinan el estado de los recursos naturales renovables y del ambiente en la región. Sin embargo, para su elaboración y seguimiento de los avances en desarrollo sostenible se

carece de una política de información ambiental nacional que oriente el diseño, operación y consolidación de los sistemas regionales de información (tal como lo exige la Ley 99 de 1993). A la fecha, las corporaciones autónomas no cuentan con una directriz ministerial que vaya más allá de la obligación de alimentar unos indicadores mínimos de gestión (Resolución 964 de 2007). Por consiguiente, las regiones colombianas tienen la tarea de elaborar la línea base ambiental necesaria para sustentar las decisiones de desarrollo sostenible, pero no cuentan con directrices para su elaboración. Se generan entonces las siguientes preguntas: ¿Cuál es la información

básica que deben conocer los tomadores de decisiones y la sociedad? ¿Qué procesos de las corporaciones autónomas regionales, en el marco de sus funciones legales, generan tal información y cómo debiera recuperarse tanto para la línea base como para su actualización periódica? ¿Qué dificultades en materia de información enfrenta la elaboración de la línea base ambiental?

Para responder a esas interrogantes, el proceso metodológico adoptó los elementos conceptuales de la infraestructura de datos espaciales, así como de los avances en planeación estadística institucional. En tal sentido, el trabajo parte de la identificación de temas de interés de las geociencias en el desarrollo sostenible, para luego hacer un recorrido por los instrumentos de planificación más importantes con el objeto de identificar sus requerimientos de información abiótica. Se presta especial atención a los indicadores mínimos ambientales señalados por el Ministerio de Ambiente, así como los posibles indicadores útiles para dar seguimiento a las metas fijadas en el capítulo ambiental del plan Visión Colombia 2019 (Departamento Nacional de Planeación 2006). Se busca construir indicadores y estructurarlos en el marco ordenador ‘presión-estado-respuesta’. En este trabajo se documenta el proceso de elaboración del componente abiótico de la línea base ambiental del departamento de Risaralda (Orozco 2007), como insumo del proceso de ajuste del Plan de Gestión Ambiental Regional al año 2019.

Información requerida para la definición de la línea base ambiental

Para la toma de decisiones, es necesario identificar la información de carácter biofísico o asociada, necesaria para los procesos nacionales y regionales de planificación y gestión que debe incorporarse en la línea base del PGAR. Mulder y Cordani

(1999) señalan que los aportes de las geociencias al desarrollo sostenible se relacionan con temas como el agua, suelo, urbanismo, disposición de basura, energía, abastecimiento de recursos minerales y reducción de desastres naturales. Asimismo, en los Objetivos de Desarrollo del Milenio tres metas se refieren específicamente al tema ambiental (ONU, 2001):

- Incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales e invertir la pérdida de recursos del medio ambiente
- Reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas que carecen de acceso a agua salubre
- Haber mejorado considerablemente, para el año 2020, la vida de por lo menos 100 millones de habitantes de tugurios

En el ámbito nacional, se identificaron varias fuentes de información útil para la definición de la línea base ambiental; ellas son:

Ordenación de cuencas: este proceso de planificación está precedido por el ejercicio de clasificación y priorización de cuencas con base en criterios y parámetros establecidos en la Resolución 104 del 2003 del IDEAM. Entre esos criterios se incluyen demanda y oferta hídrica, calidad de agua, riesgos por fenómenos naturales, degradación de suelos, conflicto por uso del agua. Para la caracterización del subsistema físico biótico, los diagnósticos de las cuencas deben incluir aspectos como fisiografía y geomorfología, sistema hidrográfico, meteorología, geología regional, recurso suelo, clasificación edafológica, clasificación de tierras según su aptitud de uso, hidrología e hidrogeología, identificación de riesgos, amenaza y vulnerabilidad.

Colombia Visión 2019: este proceso es el resultado de un trabajo coordinado por el Departamento Nacional de Planeación para definir un horizonte de planificación de

largo plazo. Colombia Visión 2019 permite asociar los PGAR a una política de Estado y no sólo a una política de gobierno. En el caso de Risaralda, constituye la guía más importante para el ajuste del PGAR y, por consiguiente, la directriz para la elaboración de la línea base en aspectos como degradación de tierras, vulnerabilidad de la oferta hídrica, reforestación protectora-productora, uso racional y eficiente del agua, cumplimiento de regulaciones y estándares de vertimiento, residuos sólidos peligrosos, información y alerta temprana para la prevención de desastres y gestión del riesgo.

Indicadores mínimos: se consideran indicadores de desarrollo sostenible, ambientales y de gestión. Esos indicadores fueron definidos por el Ministerio de Ambiente y reglamentados para normalizar los procesos de generación, administración, intercambio y socialización de la información, pues la gestión de las corporaciones debe estar orientada a obtener resultados que mejoren las condiciones ambientales de su jurisdicción y contribuyan al logro de los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con las metas del milenio (Ministerio de Ambiente 2004).

Luego de identificar la información demandada por diferentes procesos y agentes, se propuso el contenido del componente abiótico para la línea base del departamento de Risaralda (Cuadro 1). Para la presentación de la información se adoptó el modelo presión-estado-impacto/efecto-respuesta), ajustado a partir del modelo propuesto por Winograd et ál. (1996).

Para identificar la oferta y demanda de información temática generada por los procesos institucionales se precisaron los requerimientos mínimos. Luego, con base en los aspectos requeridos para elaborar el inventario de oferta de información institucional en el

Cuadro 1. Contenido de los componentes suelo y agua para la línea base ambiental del Departamento de Risaralda, Colombia

Contenido propuesto	Escala	Requerimientos de información
Suelo		
Oferta ambiental (estado)		
Uso potencial del suelo	Cuencas y municipios	Áreas por los diferentes usos potenciales, mapa
Susceptibilidad a la erosión y movimientos en masa	Cuencas	Mapa de susceptibilidad a erosión y movimientos en masa
Manifestaciones de recursos no renovables	Cuencas y municipios	Inventario de manifestaciones, yacimientos - georreferenciación
Aceleración sísmica (valores máximos registrados)	Cabeceras de Pereira, Dosquebradas, Santa Rosa	Formaciones superficiales y su comportamiento ante los diferentes eventos
Demanda socioeconómica (presión)		
Extensión del área urbana y de expansión	Cuencas y municipios	Mapa y áreas por municipio
Extensión de las áreas suburbanas	Cuencas y municipios	Mapa y áreas por municipio
Uso del suelo	Cuencas y municipios	Mapa y áreas por los diferentes usos actuales del suelo
Minería (incluyendo material de arrastre)	Cuencas y municipios	Georreferenciación de los sitios de actividad minera
Generación de residuos sólidos	Municipio	Estimaciones de generación de residuos sólidos por municipio
Diagnóstico: Problemática (relación presión/estado)		
Toneladas de residuos sólidos (RS) dispuestos inadecuadamente	Cuencas y municipios	Toneladas de RS municipales dispuestos en botaderos a cielo abierto - georreferenciación de botaderos y rellenos sanitarios en el departamento
Población localizada en áreas susceptibles a inundación	Cuencas y municipios	Inventario de viviendas y personas localizadas en zona de riesgo por inundación - Georreferenciación
Población localizada en áreas susceptibles a deslizamientos	Cuencas y municipios	Inventario de viviendas y personas localizadas en zona de riesgo por deslizamientos - Georreferenciación
Índice de conservación de suelos	Cuencas	No existe hoja metodológica
Pérdida de suelos agrícolas por urbanización	Cuencas y municipios	Área de urbanizaciones construidas en zonas suburbanas y de expansión
Conflictos de uso del suelo	Cuencas y municipios	Mapa de conflictos, áreas en conflicto alto, medio, bajo y sin conflicto
Gestión		
Áreas en programas de reconversión de sistemas productivos agropecuarios	Cuencas y municipios	Georreferenciación de áreas en programas de reconversión ganadera, proyecto de conservación de aguas y suelos, PROCAS, cafés especiales
Suelos de protección municipal	Cuencas y municipios	Georreferenciación de los suelos de protección municipal
Política y norma departamental sobre residuos sólidos peligrosos	Departamento	Existe o no
Redes de alerta temprana	Departamento	Georreferenciación de las estaciones
Porcentaje de municipios con planes de gestión del riesgo	Departamento	Municipios con planes elaborados y en ejecución
Gestión en financiación de proyectos de investigación	Departamento	Inventario de estudios
Agua		
Oferta del agua (estado)		
Cantidad		
Caudal mínimo anual de la corriente en cada bocatoma de acueductos en centros poblados, medido en litros por segundo (l/s)	Cuencas aferentes, acueductos, cabeceras municipales y otros	Caudal mínimo anual o multianual
Reservas de agua subterránea	Pereira, Dosquebradas	Reservas en los acuíferos, georreferenciación de acuíferos
Caudal de aguas termales	Santa Rosa - Cuenca	Caudal de aguas termales por fuente, georreferenciación de ojos de agua
Calidad		
Oxígeno disuelto (OD) o déficit de oxígeno disuelto	Principales cuencas del departamento	OD en estaciones de monitoreo por cuenca
Índice de calidad de agua en la corriente, aguas arriba de las bocatomas de cabeceras municipales	Cuencas aferentes, acueductos, cabeceras municipales y otros	Índice de calidad antes de estas bocatomas, mapa de cuencas aferentes
Concentración de agentes patógenos entéricos en cada bocatoma de acueductos en centros poblados	Cuencas aferentes, acueductos, cabeceras municipales y otros	Agentes patógenos entéricos antes de estas bocatomas
Índice de calidad en las principales corrientes superficiales del departamento	Principales cuencas del departamento	Índice de calidad de aguas en las principales cuencas

Cuadro 1 contin a en p. 70

Cuadro 1 viene de p. 69

Índice de calidad de aguas subterráneas	Pozos de la red de calidad	Índice de calidad para los pozos de la red de calidad
Demanda del agua (presión)		
Cantidad		
Consumo de agua <i>per cápita</i> (residencial), medido en litros por habitante por día (l/hab./día)	Acueductos de las cabeceras municipales	Datos de macromedición de acueductos y población atendida
Consumo de agua por unidad de producción (industrial y comercial) o consumo de agua por sector productivo	Sector productivo	Caudales consumidos por sector
Consumo de agua en el sector agrícola (por hectárea) y pecuario (por cabeza)	Sector productivo	Caudales consumidos por sector
Consumo de agua subterránea o tasa de aprovechamiento	Sector productivo	Caudales aprovechados por sector - georreferenciación de los pozos
Consumo de aguas termales	Sector productivo	Caudales aprovechados por sector - georreferenciación de los nacimientos
Pérdidas en sistemas de acueducto	Acueductos municipales	Caudal de captación - caudal facturado
Caudal de captación de los acueductos de las cabeceras	Acueductos municipales	Caudal de captación
Calidad		
% de vertimientos que cumplen los estándares	Cuenca	Total de vertimientos puntuales y dispersos, vertimientos que cumplen los estándares, georreferenciación de los vertimientos con permiso
Diagnóstico del agua (relación presión/estado)		
Cantidad		
Índice de escasez de agua	Cabecera municipal	Información de oferta y demanda del recurso para las cuencas abastecedoras de los municipios
Vulnerabilidad por disponibilidad de agua	Cabecera municipal	Índice de vulnerabilidad para los municipios del departamento
Sobreexplotación de acuíferos	Acuífero, municipios Pereira y Dosquebradas	Balance hídrico de aguas subterráneas, caudales aprovechados
Calidad		
Peligro potencial de contaminación de acuíferos	Pereira, Dosquebradas	Mapa de peligros potenciales
Morbilidad por enfermedad diarreica aguda	Municipio - Departamento	Número de consultas externas e internas por enfermedad diarreica aguda Población del municipio
Gestión del agua		
Cantidad		
Caudal de concesiones de agua superficial por sector	Sector productivo (incluyendo uso doméstico) - cuenca hidrográfica	Caudales de concesión, georreferenciación de las concesiones
Caudal de concesiones de agua subterránea por sector	Sector productivo (incluyendo uso doméstico) - acuífero	Caudales de concesión - georreferenciación de las concesiones
Calidad		
Disponibilidad efectiva de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas	Cuencas	Sistemas de tratamiento construidos, población beneficiada, carga removida, georreferenciación de los sistemas construidos (se incluyen sistemas construidos por otras entidades)
Carga combinada de contaminación hídrica reducida con participación de la corporación	Cuenca	Sistemas de tratamiento cofinanciados y carga reducida con ellos - georreferenciación de los mismos

marco de la planificación estadística, se identificaron los procesos institucionales que generan información del componente abiótico, tanto por registros de monitoreo como administrativos. En el Cuadro 2 se señalan los temas mínimos que requieren información agregada para la descripción y diagnóstico ambiental del territorio para los planes de ordenamiento territorial y de ordenación de cuencas hidrográficas.

En resumen, la revisión de los principales instrumentos de planificación ambiental global, nacional y regional permiten precisar los requerimientos de datos e información relevante para la toma de decisiones y para el seguimiento del proceso de desarrollo sostenible. Para la elaboración del componente abiótico de la línea base ambiental de Risaralda resultaron de utilidad las metas y objetivos del milenio, a escala glo-

bal; el plan nacional de desarrollo y la Visión Colombia 2019, a escala nacional y los indicadores de gestión e indicadores ambientales, así como la priorización de cuencas para ordenamiento, la metodología de ordenamiento de cuencas y de ordenamiento territorial municipal para las escalas regional y local.

Por las características de los usuarios de la información así como por la forma como se generan los

datos, las unidades de análisis correspondieron a unidades hidrográficas (cuencas), municipios, subregiones y áreas naturales protegidas. Asimismo,

al modelo presión-estado-respuesta, reconocido internacionalmente como marco ordenador para la presentación de sistema de indica-

dores (Winograd et al. 1996), se le agregó la categoría impacto/efecto, de utilidad para la estructuración del contenido de la línea base. 

Cuadro 2. Información biofísica mínima para adelantar procesos de ordenamiento territorial municipal y de cuencas hidrográficas en Risaralda, Colombia

Tema	Cobertura disponible	Descripción de la cobertura	Escala	Observaciones y recomendaciones
Información básica	Curvas de nivel	Curvas departamentales de nivel producto de la digitalización de planchas IGAC en 1997	1:25.000	Base cartográfica desactualizada e incompleta. La solución depende del IGAC. Es posible su empleo con restricciones para los planes de ordenamiento territorial (POT) y ordenación de cuencas.
		Curvas de nivel de áreas urbanas	1:2.000	Base cartográfica completa para todas las cabeceras. Satisface requerimientos de POT de áreas urbanas.
	Límite departamental	Contiene el límite departamental producto de la digitalización de planchas IGAC, en 1997	1:25.000	La superficie del departamento calculada a partir de esta información es inferior a otros datos oficiales. El IGAC debe revisar el dato de extensión y delimitación del departamento.
	Límite municipal	Límites municipales producto de la digitalización de planchas IGAC	1:25.000	Revisarlos junto con la revisión de límites y extensión del departamento.
	Toponimia y red vial	Generada en el inventario vial de Risaralda elaborado por CARDER y Gobernación en 1998	1:25.000	Adecuada
	Red hídrica	Red hídrica del departamento producto de la digitalización de planchas IGAC	1:25.000	Base cartográfica desactualizada e incompleta. La solución depende del IGAC. Es posible su empleo con restricciones para los POT y ordenación de cuencas.
Agua	Oferta en cantidad	Balance hídrico	1:25.000	Aunque parece adecuada para planificar el recurso hídrico en la Subregión I, hay inconsistencias en los cálculos de la Universidad Nacional y del IDEAM. Para las subregiones II y III se carece de información básica suficiente.
	Oferta en calidad	Calidad físico-química y bacteriológica	1:25.000 cuenca río Risaralda	Para las subregiones I y III no existen mapas de calidad del recurso hídrico superficial. No hay indicadores actualizados de calidad, calculados a partir de datos del monitoreo de corrientes. Es necesario definir rutina para la actualización del indicador de índice de calidad de agua en corrientes superficiales y seguimiento de los objetivos de calidad.
	Demanda cantidad	Concesiones de aguas Registro usuarios legales e ilegales Uso del suelo		La obtención y manejo de información sobre demanda del recurso hídrico superficial y subterráneo debe establecerse como una prioridad dentro del plan estadístico institucional, tanto para la reglamentación del recurso como para la implementación de la tasa por uso.
	Demanda Calidad	Vertimientos puntuales y dispersos		La obtención y manejo de información sobre vertimientos puntuales y demanda del recurso hídrico superficial y subterráneo debe establecerse como una prioridad dentro del plan estadístico institucional, como insumo para la implementación de la tasa retributiva.
	Relación oferta - demanda - cantidad	Índice de escasez		Se debe unificar la metodología, adoptando el protocolo nacional para el cálculo del índice de escasez reglamentado por el Ministerio de Ambiente.
	Relación oferta - demanda - calidad	Aptitud de uso		Para las subregiones I y III no existen mapas de calidad del recurso hídrico superficial. No se cuenta con indicadores actualizados de calidad calculados a partir de los datos del monitoreo de corrientes. Es necesario definir rutina para la actualización del índice útil para el seguimiento de los objetivos de calidad.

Cuadro 2 continúa en p. 72

Suelo	Oferta	Suelos	Esta cobertura es producto del estudio de suelos para el departamento de Risaralda del IGAC, año 1988.	1:200.000	Según el IGAC, la información fue capturada a escala 1:25.000. Se requiere acceso a datos primarios para ajustar la cartografía a escalas útiles para fines de ordenamiento territorial, principalmente en zonas rurales.
		Uso potencial	Mapa elaborado a partir de la superposición de coberturas del suelo (1:200.000) y zonas de vida de Holdridge (1:500.000) según metodología de Guy Parent.	1:500.000	Revisar insumos empleados (mapa suelos y zonas de vida) y precisar la escala real del mapa generado. Se prevé la necesidad de producir un nuevo mapa que atienda los requerimientos de escala de ordenamiento territorial municipal y de cuencas para la identificación de conflictos de uso.
		Recursos mineros	Mapa actualizado de solicitudes mineras al Ingeominas	1:25.000	Mapa actualizado y de fácil adquisición.
	Restricciones	Amenazas	Volcánica, elaborado por Ingeominas	1:25.000	Suficiente.
			Sísmica, elaborado bajo coordinación de CARDER. Microzonificación para cada cabecera municipal.	1:25.000	Suficiente.
			Inundación: Otún (zona urbana y suburbana) Risaralda y Cauca (rural y urbano) San Eugenio (urbano)	1:50.000 1:125.000 1:5.000	Es insuficiente. Se requiere cartografía a escala 1:10.000 para el ordenamiento urbano de Dosquebradas, Pereira, La Virginia y Mistrató.
			Susceptibilidad a movimientos en masa para todas las cabeceras municipales y corregimientos.	Entre 1:5000 y 1:2000	Además de la susceptibilidad, se requieren mapas de procesos erosivos actuales. Debe programarse su actualización.
	Demanda	Uso actual	Cobertura de uso del suelo departamental (1:200.000) y municipal (1:25.000) con base en imágenes satelitales ASTER y clasificación del Ministerio de Agricultura, año 2006.	1:25.000	El cambio en la metodología para la obtención de los mapas en 1997 y 2006 puede generar limitaciones al evaluar variaciones en el uso de la tierra.
		Minería	Mapa de licencias mineras. Actualizado	1:25.000	Suficiente.
	Relación oferta/demanda	Conflictos de uso	Cartografía disponible a escala 1:25.000 para la cuenca del río Risaralda, año 1996. Para el resto del departamento, a escala 1:200.000.		La escala 1:25.000 es insuficiente para el trabajo en municipios y cuencas. La principal restricción es la falta de mapa de uso potencial.
		Riesgos por fenómenos naturales	Inventario actualizado de viviendas en zonas de riesgo a 2004-2005 en área urbana de Pereira, Dosquebradas y Balboa.	Censo	Información desactualizada para la mayoría de municipios. Falta unificar metodología de zonificación.

Agradecimientos

El autor agradece el apoyo de Alberto Arias Dávila y Francisco Uribe, Director y Jefe de la Oficina Asesora de Planeación de la CARDER; del profesor Michel Hermelin y el geólogo Geovanny Bedoya de la Universidad EAFIT.

Literatura citada

- ICDE (Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales). 2000. Acuerdos básicos. Consultado 15 ene. 2006. Disponible en <http://www.icde.org.co>.
- IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales). 2002. Perfil del estado de los recursos naturales y del medio ambiente en Colombia 2001. Bogotá, Colombia. 585 p.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2004. Decreto 1200: Instrumentos de Planificación Ambiental y otras disposiciones. Bogotá, Colombia.
- Mulder, J.; Cordani, U. 1999: Geoscience provides assets for sustainable development. Episodes (China) 22(2):78-83.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992. Programa 21: Capítulo 40: Información para la adopción de decisiones (en línea). Consultado 15 ene. 2006. Disponible en <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21schapter40.htm>
- ONU. 2001. Guía general para la aplicación de la Declaración del Milenio. Informe del Secretario General. Documento A/56/326
- Orozco, J. 2007. Situación de los recursos naturales y el medio ambiente en Risaralda; línea base ambiental del Departamento. Pereira, Colombia, CARDER. 194 p.
- Quiroga, R. 2001. Indicadores de desarrollo sustentable: estado del arte y perspectivas. Santiago, Chile, CEPAL, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Formato digital.
- Winograd, M; Uribe, F; Reinales, J; Orozco, J; Escobar, J. 1996. Indicadores ambientales para la toma de decisiones en la Corporación Autónoma Regional de Risaralda: marco conceptual y aplicación. Cali, Colombia, CIAT / CARDER. Documento de trabajo No 160. 59 p.

Sistema regional de áreas naturales protegidas en el Eje Cafetero de Colombia

Un esfuerzo colectivo para la conservación de nuestro territorio¹

Erika Nadachowski Chávarro²;
Martha Yazmín Valencia Valencia³

La visión de desarrollo que se persigue en el Eje Cafetero colombiano apunta a que “En el 2024, el eje cafetero cuenta con un sistema de áreas protegidas legalmente constituidas, socialmente legitimado, donde la biodiversidad de la región está satisfactoriamente representada y donde persisten a largo plazo los elementos que lo integran, los procesos ecológicos y evolutivos que lo sustentan y los servicios ambientales que brindan a las comunidades”.

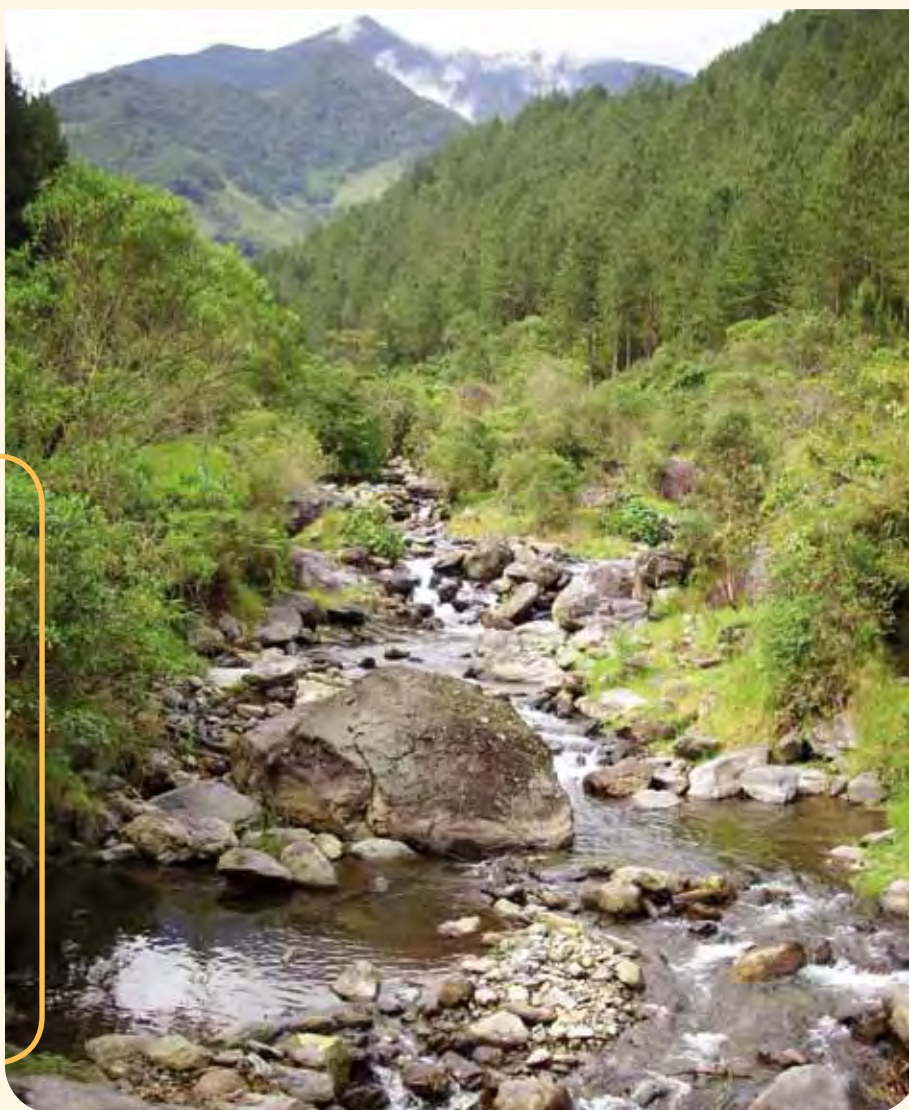


Foto: Martha Yazmin Valencia Valencia.

¹ Con el apoyo de las siguientes instituciones: Corporaciones autónomas regionales de Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima y Valle del Cauca; Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; Red de Reservas de la Sociedad Civil; Wildlife Conservation Society; WWF-Colombia, Fundación Ecoandina y Fundación Orquídea.

² Corporación Autónoma Regional de Risaralda -CARDER. Avenida de Las Américas No. 46-40, Pereira, Risaralda, Colombia. enadachowski@carder.gov.co

³ Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER. Avenida de Las Américas No. 46-40, Pereira, Risaralda, Colombia. marthayazmin@yahoo.com

Resumen

Se describe la experiencia de conservación del territorio en el Eje Cafetero Colombiano, donde las áreas naturales protegidas son el instrumento de planificación primordial. A través de ejercicios técnicos prospectivos que incorporan criterios políticos, socioeconómicos y biológicos, se definen prioridades de conservación y lineamientos regionales de acción y/o determinantes ambientales para la orientación de la gestión departamental y local. Se destaca la importancia del trabajo colectivo interinstitucional, la coordinación y articulación de procesos e iniciativas gubernamentales y no gubernamentales, así como la estructura, funciones y esquema de funcionamiento del sistema. Se hace un breve recuento de los logros alcanzados en los cuatro ejes temáticos: conservación y manejo sostenible, fortalecimiento de capacidades, participación-comunicación y relacionamiento-gestión. Este es el primer sistema regional de áreas naturales protegidas del país, experiencia que ha servido como ejemplo para la conformación de los otros sistemas regionales: Caribe, Macizo y Pacífico (actualmente en proceso de conformación). Los sistemas regionales son el escenario propicio para la articulación de escalas entre lo local, departamental, regional y nacional.

Palabras claves: Medio ambiente; zonas protegidas; servicios ambientales; planes de desarrollo; estudios de casos prácticos; conservación de la naturaleza; desarrollo sostenible; participación; comunicación; alianzas estratégicas; zona cafetera; Colombia.

Summary

Regional system of protected natural areas in the Colombian coffee belt. This study shows the experience in land conservation in the Colombian coffee belt, where protected areas are the main planning instrument. By means of prospective technical essays that have into account political, socioeconomic and biological criteria, the conservation priorities and regional action lines and/or environmental determinants were defined to focus management at local and departmental levels. The importance of inter-institutional collective efforts, coordination, articulation of governmental processes and initiatives is outstanding; the same as the system's structure, functions and operation. A brief account of goals achieved in all four thematic axis -conservation and sustainable management, capacity reinforcement, participation-communication, and connection-direction -is also included. This is the first regional system of natural protected areas in the country; this experience has served as a model for the creation of other regional systems: Caribbean, Massif and Pacific (presently in process). The regional systems are the best scenario to articulate local, departmental, regional and national efforts.

Keywords: Environment; protected areas; environmental services; development plans; case studies; nature conservation; sustainable development; participation; communication; strategic alliances; coffee zone; Colombia.

Creación del SIRAP-EC

El eje cafetero colombiano está conformado por los departamentos que derivan su economía principalmente del cultivo del café y que comparten elementos culturales, sociales y ecosistémicos comunes. Dentro del eje se encuentran 98 municipios de los departamentos de Risaralda, Caldas,

Quindío, Norte del Valle y Occidente del Tolima, los cuales albergan una población aproximada de 3.696.113: 23% en la zona rural y 76% en la zona urbana. En este territorio y en diferentes momentos, se han iniciado procesos de conservación motivados por intereses comunitarios o institucionales, pero desarticulados. Se identificó, entonces, la necesidad

de hacer un análisis regional que garantice la conservación de la biodiversidad en todos sus niveles. La idea es generar un espacio de concertación y planificación conjunta que incida en los instrumentos de planificación de las instituciones con acciones en la región.

El Sistema Regional de Áreas Protegidas del Eje Cafetero

(SIRAP-EC) es un espacio de encuentro entre autoridades ambientales y otros actores de los sistemas departamentales de áreas protegidas. Entre los objetivos del mismo están:

- Compartir avances de la gestión en áreas naturales protegidas, conocer y discutir temas de interés común.
- Definir acuerdos regionales que sirvan para la orientación de diferentes temas aplicados a nivel departamental o local.
- Canalizar aportes y negociar posiciones de la región para la construcción del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP).

Con lo anterior, se busca un propósito común: disponer de un conjunto de áreas protegidas, de sistemas locales e iniciativas complementarias a los objetivos de estas áreas, que trabajen armónicamente y contribuyan a la conservación de la biodiversidad, a la generación de bienes y servicios ambientales y al bienestar de las comunidades de la ecorregión del eje cafetero, en coherencia con los objetivos del SINAP (proceso en construcción).

A comienzos de la década del 2000, el SIRAP-EC era el primer sistema regional de áreas protegidas de Colombia, que buscaba conservar una muestra representativa de los ecosistemas de la ecorregión cafetera. El sistema está conformado por los actores y las áreas protegidas de la Ecorregión del Eje Cafetero y para su accionar cuenta con la participación voluntaria de actores gubernamentales, no gubernamentales y de la sociedad civil de la región; entre ellos:

- Autoridades ambientales regionales: las Corporaciones Autónomas Regionales de Caldas (Corpocaldas), Risaralda (CARDER), Quindío (CRQ), Tolima (Cortolima) y Valle del Cauca (CVC)
- Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, la autoridad ambiental de carácter nacional
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)
- Red de Reservas de la Sociedad Civil (Resnatur)
- Wildlife Conservation Society (WCS)

- World Wildlife Fund (WWF-Colombia)
- Fundación Ecoandina
- Fundación Orquídea
- Sistemas departamentales de áreas protegidas de Risaralda, Valle del Cauca, Quindío, Caldas y Tolima

Organigrama del SIRAP-EC

Para facilitar la interacción de los actores, se definió un esquema de funcionamiento que permitiera la construcción conjunta, concertación de acciones y toma de decisiones en diferentes niveles, con el fin de lograr una incidencia regional-local y posicionamiento institucional y político. Este esquema de funcionamiento permite organizar el proceso de construcción y toma de decisiones según el nivel en que se desarrolle (Fig. 1).

Comité directivo integrado por los representantes legales de las autoridades ambientales con injerencia en la región del eje cafetero, nacional y regionales.

Comité ampliado conformado por los representantes legales de las entidades de apoyo que han tenido un fuerte interés y participación en el

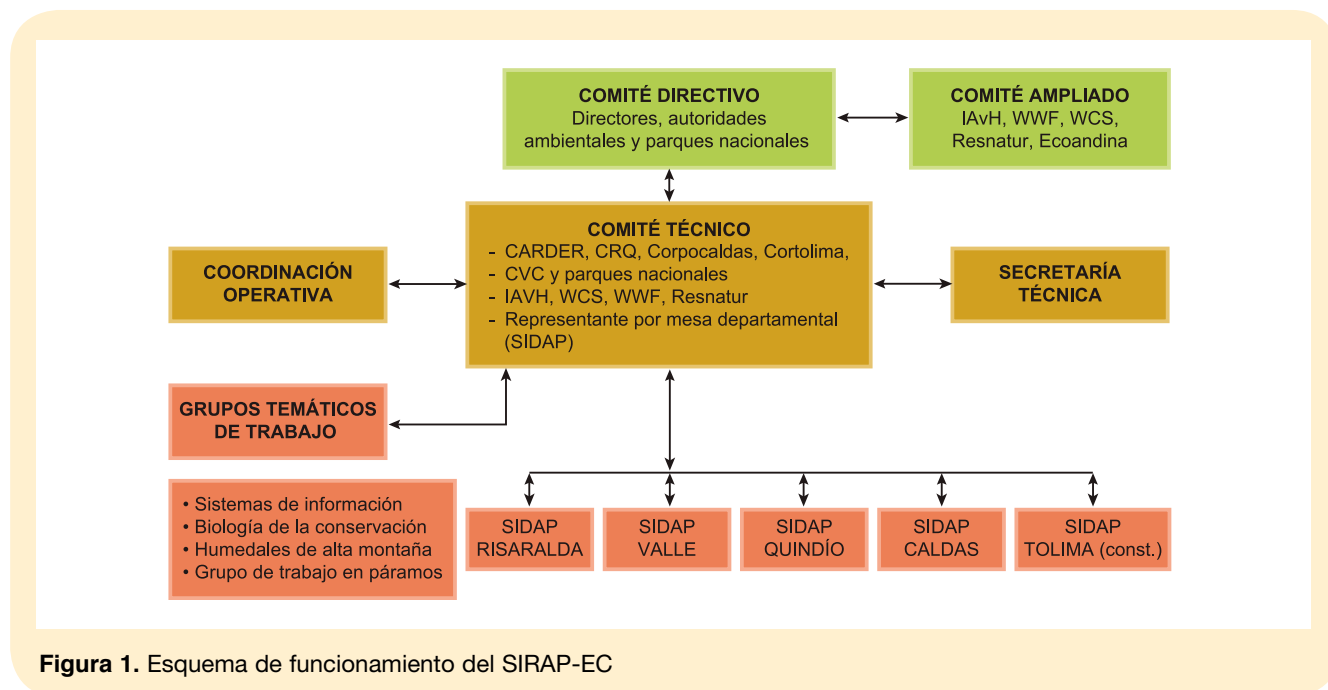


Figura 1. Esquema de funcionamiento del SIRAP-EC



El Sistema Regional de Áreas Protegidas del Eje Cafetalero es un espacio de encuentro entre autoridades ambientales y otros actores de los sistemas departamentales de áreas protegidas

proceso de construcción del SIRAP-EC y experiencia en temas de áreas protegidas a nivel ecorregional. Sus funciones son las mismas que las del comité directivo, pero participan únicamente en decisiones relacionadas con el SIRAP-EC, en tanto que el comité directivo es el mismo para todos los procesos enmarcados dentro de la agenda de desarrollo sostenible de la ecorregión.

Comité técnico conformado por los técnicos delegados por el comité directivo ampliado y por un representante de cada mesa departamental de áreas protegidas. El comité técnico funciona como una instancia de carácter regional fortalecida por instancias locales en cada departamento, donde las discusiones tienen un enfoque más preciso en el territorio. Tener un representante de las mesas departamentales de áreas protegidas permite alcanzar dos metas simultáneamente: la conservación de las dinámicas particulares de los procesos de cada depar-

tamento y la mayor participación de actores involucrados en el manejo de áreas protegidas.

Secretaría técnica que coordina y lidera la ejecución del plan operativo anual y aporta criterios técnicos. El comité directivo selecciona la entidad que debe asumir esa responsabilidad. Desde el inicio del proceso, CARDER ha desempeñado esa función en el SIRAP-EC.

Coordinación operativa desempeñada por un profesional contratado para apoyar a la secretaría técnica en la ejecución de los planes operativos anuales; su función principal es aportar criterios técnicos para la toma de decisiones.

Comités temáticos o grupos de trabajo para realizar las actividades correspondientes a las metas y objetivos del planeación; en ellos participan personas con experticia en determinados temas. Estos grupos son dinámicos y pueden cambiar su composición según las necesidades de los proyectos, pero siempre se

busca vincular personas, organizaciones y/o instituciones que tienen el perfil y la pericia requerida. Estos grupos luego se encargan de divulgar los resultados del trabajo al resto del equipo o a otros procesos y, si es necesario, propiciar capacitación o formación alrededor de los resultados para el resto del equipo.

Los mecanismos de trabajo incluyen reuniones técnicas periódicas en las cuales se avanza en la concertación de metodologías, transferencia de tecnología, intercambio de información, asignación de tareas y generación de informes de avance. Actualmente se cuenta con los siguientes grupos de trabajo:

- Grupo de trabajo para actividades de biología de la conservación, liderado por WCS, WWF y Ecoandina.
- Grupo de trabajo para la implementación del sistema de información sobre biodiversidad, liderado por el Sistema de Información Regional (SIR) y WCS.
- Grupo de trabajo sobre humedales de alta montaña, liderado por CARDER - WWF.
- Grupo de trabajo sobre páramos, liderado por Fundación Las Mellizas.

Todo este accionar persigue una visión de desarrollo muy clara: *“En el 2024, el eje cafetero cuenta con un sistema de áreas protegidas legalmente constituidas, socialmente legitimado, donde la biodiversidad de la región está satisfactoriamente representada y donde persisten a largo plazo los elementos que lo integran, los procesos ecológicos y evolutivos que lo sustentan y los servicios ambientales que brindan a las comunidades”*.

Ejes temáticos del SIRAP-EC

Para el logro del propósito planteado, el SIRAP-EC trabaja en cuatro ejes temáticos, los cuales muestran los avances siguientes:

1. Conservación y manejo sostenible
- Determinación de áreas candida-

tas para la conservación a través de ejercicios de expertos en biología de la conservación.

- Creación de la base de datos de biodiversidad del SIRAP-EC (35.000 registros aproximadamente); ya se trabaja en la articulación de esta base con el Sistema de Información en Biodiversidad Nacional, con apoyo del Sistema de Información Regional.
- Listado de especies focales para el SIRAP-EC.
- Elaboración de un protocolo para la formulación de planes de conservación y manejo de las especies focales del SIRAP-EC. A la fecha se han realizado nueve planes de manejo:
 - *Saguinus leucopus* (titi gris)
 - *Andigena hypoglaucha* (tucán pechigris andino)
 - *Andigena nigriroris* (tucán piquinegro)
 - *Hapalopsittaca amazonina* velezi (cotorra montañera)
 - *Leptosittaca branickii* (perico paramuno)
 - *Penelope perspicax* (pava caucana)
 - *Alouatta seniculus* (mono aullador)
 - *Aniba perutilis* (comino crespo)
 - *Ceroxylon* spp. (palma de cera)
- Se ha avanzado en la definición de acuerdos regionales a nivel de la región noroccidente del país (SIRAP Eje Cafetero, SIDAP Antioquia y SIDAP Chocó) sobre determinantes ambientales para áreas naturales protegidas y suelos de protección; además, se han formulado acuerdos regionales conceptuales sobre áreas protegidas y una propuesta regional sobre

criterios para la definición de categorías de áreas protegidas.

- Mapa de ecosistemas elaborado para el SIRAP-EC con la metodología Corine Land Cover a escala 1:100.000.
 - Adelantos en la evaluación de efectividad del manejo de los sistemas departamentales de áreas protegidas y en la prueba de la metodología de integridad ecológica para el sistema regional.
 - Inventario de áreas naturales protegidas actualizado.
 - Fortalecimiento de las acciones de conectividad a través de las zonas amortiguadoras y corredores de gestión para la conservación en el Parque Nacional Natural Los Nevados, Parque Nacional Natural Tatamá y los corredores de Tatamá-Paraguas, Alta Montaña y Nevados-Florencia-Sonsón.
2. Fortalecimiento de capacidades
- Eventos de capacitación de los actores de la mesa regional en:
 - biología de la conservación
 - capacitación a capacitadores
 - gestión de información sobre biodiversidad
 - riesgo público en áreas protegidas
 - normatividad
 - Líderes de los sistemas departamentales en intercambios de experiencias con otros sistemas:
 - gira de intercambio SIDAP Risaralda
 - gira de intercambio SIDAP Valle del Cauca
 - gira de intercambio SIDAP Quindío
 - Conjunto de materiales didácticos disponibles que facilitan el proceso de capacitación:

- Planificando el edén: Primera y segunda edición
- Planes de manejo de pava caucana y mono aullador
- Cartillas pedagógicas pava y mono aullador
- Libro de sistematización de nueve años del proceso
- Libro sobre avances en la gestión departamental en áreas protegidas
- Participación y comunicación
- Se cuenta con los resultados de un proceso de evaluación del proceso al 2009, elaborado con el apoyo de WWF.
- Se ha creado la imagen corporativa del SIRAP-EC.
- Con el apoyo de WCS, se creó la página web del SIRAP-EC (www.sirapejecafetero.org).
- Relacionamiento y gestión
- Apoyo al SIDAP Caldas y Tolima: Mesas establecidas en ambos departamentos y en proceso de oficialización de los SIDAP.
- Relación con otros sistemas regionales: conformación de un comité coordinador entre los cuatro SIRAP de Colombia (Macizo, Caribe, Pacífico y Eje Cafetero); conformación de mesa tripartita (SIRAP Pacífico, SIRAP Macizo y SIRAP-EC). Además, se realizó un análisis de la región noroccidente del país para identificar los procesos actuales de conservación y sus relacionamientos.
- Integración al SINAP: participación activa del SIRAP-EC en el proceso de áreas protegidas de la región noroccidente y en las mesas SINAP.

Literatura consultada

- CARDER-Corpocaldas (Corporación Autónoma Regional de Risaralda - Corporación Autónoma Regional de Caldas). 2009. Un esfuerzo colectivo para la conservación de nuestro territorio. Pereira, Colombia, CARDER. 200 p.
- Ceballos, JE. 2009. Coordinación operativa Sistema Regional de Áreas Protegidas del Eje Cafetero. Informe Final. Contrato de Prestación de Servicios No. 033 de 2008. Convenio CARDER-CVC 067/07.
- Rey, CA. 2008. Ejercicio regional de actualización de áreas candidatas, conceptualización y definición de recomendaciones sobre categorías de manejo para el SIRAP-Eje Cafetero. Informe Final. Contrato de Prestación de Servicios No. 127 de 2008. Convenio CARDER-CVC 067/07. 54 p.

Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador)

Mauricio A. Echeverry D¹;
Grady J. Harper²

Las áreas de bosque en el CCCM representan aproximadamente el 50% del área total del corredor; sin embargo, los procesos de transformación y deforestación aumentan la fragmentación de los ecosistemas, lo que afecta su funcionalidad y la provisión de bienes y servicios ambientales para las poblaciones asentadas en el corredor. Aunque prevalecen grandes extensiones de bosque -especialmente en la parte norte del corredor- se evidencian el aumento gradual en la fragmentación de las áreas de bosque y el consiguiente aumento de las áreas transformadas.

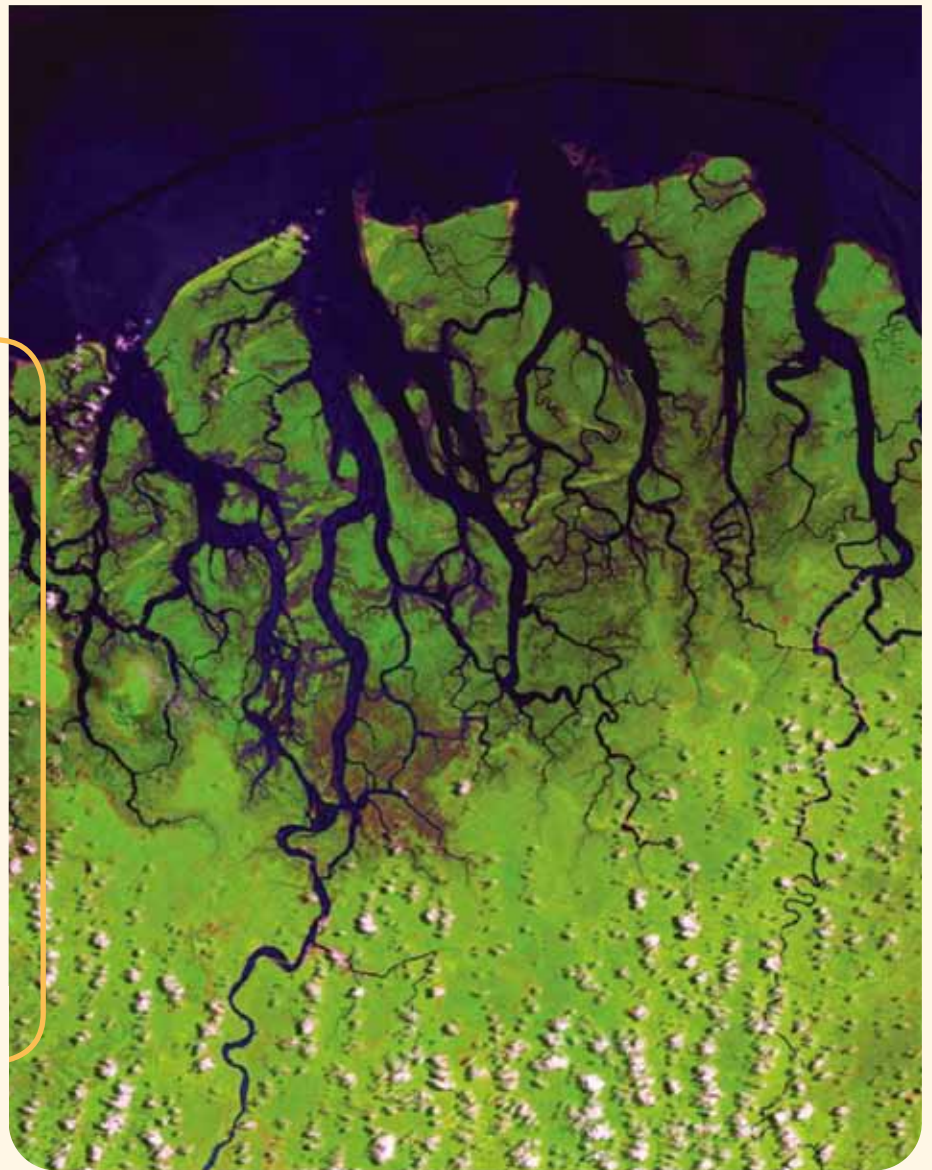


Imagen Landsat del Parque Nacional Natural Sanquianga. Departamento de Nariño, Colombia. Fuente: Mauricio Echeverry.

¹ Coordinador Unidad SIG CIEBREG, Investigador Grupo de Agroecosistemas Tropicales Andinos. Universidad Tecnológica de Pereira. mauroe@utp.edu.co
² Investigador. CABS (Center for Applied Biodiversity Science). Conservation International, Regional Analysis Department. gharper@conservation.org

Resumen

En el Corredor de Conservación Chocó-Manabí (Colombia-Ecuador) se realizó un estudio de deforestación y fragmentación para obtener los datos necesarios que permitieran definir indicadores de estado para el sistema de monitoreo socioambiental del corredor. Asimismo, se buscó tener una aproximación válida del estado de los ecosistemas en el área de estudio. Mediante sensores remotos (imágenes Landsat TM y ETM) se generó información para el periodo 1989-2002, que permitiera analizar los cambios en la cobertura de bosque (deforestación) y definir métricas de fragmentación en el corredor y las áreas piloto a escala regional y local.

Palabras claves: Sistemas de información geográfica; imágenes de Landsat; fragmentación del bosque; deforestación; ecosistema; monitoreo; corredor biológico; Corredor de Conservación Choco-Manabí; Colombia; Ecuador.

Summary

Analysis of deforestation and fragmentation as ecosystem-state indicators in the Choco-Manabi Conservation Corridor (Colombia-Ecuador). A deforestation and fragmentation study was carried out in the Choco-Manabi Conservation Corridor (Colombia-Ecuador) to obtain the data needed to define state indicators for the Corridor's environmental and social monitoring system. Also, the present conditions of ecosystems were assessed. Working with remote sensing (Landsat TM and ETM), information for the 1989-2002 span was generated in order to determine changes in forest cover (deforestation) and define fragmentation metrics for both the Corridor and selected pilot areas, at regional and local scale.

Keywords: geographic information systems; Landsat imagery; forest segmentation; deforestation; ecosystems, monitoring; biological corridor; Choco-Manabi Conservation Corridor; Colombia; Ecuador.

Introducción

El Fondo de Alianzas Estratégicas para Ecosistemas Críticos (CEPF) definió el Corredor de Conservación Chocó-Manabí (CCCM) como un escenario ecológico y geográfico de planificación prioritario en vista de su riqueza biológica y diversidad cultural, por una parte, y la multiplicidad de factores que contribuyen a su deterioro o pérdida, por la otra (www.chocomanabi.org). Como una iniciativa regional, el CCCM tiene el propósito de articular, de manera sostenible, la conservación de la biodiversidad con el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales en una de las regiones biológicamente más ricas y amenazadas del mundo: el *hotspot*

Tumbes-Chocó-Magdalena, conocido anteriormente como Chocó-Darién-Ecuador Occidental (Fig. 1). El Corredor cubre una superficie aproximada de 192.000 km², que representa cerca del 73% del *hotspot* Tumbes-Chocó-Magdalena, y comprende los bosques húmedos y muy húmedos de la región del Pacífico en Colombia y Esmeraldas en Ecuador, así como los bosques secos de la provincia de Manabí en Ecuador.

El sistema de monitoreo socioambiental del CCCM es uno de los proyectos de la iniciativa binacional; dicho proyecto se desarrolla en tres ventanas de implementación a nivel local, dos en Colombia y una en Ecuador (Fig. 2):



Figura 1. Ubicación del *hotspot* Tumbes-Chocó-Magdalena

Fuente: http://www.biodiversityhotspots.org/xp/hotspots/tumbes_choco/Pages/default.aspx

³ CEPF es una alianza entre el Banco Mundial, el Fondo Ambiental Global (GEF), Conservación Internacional (CI), el gobierno de Japón y la fundación MacArthur para ayudar a financiar las estrategias de conservación de la biodiversidad en los *hotspots* más amenazados del mundo.

- Ventana Tatamá-Paraguas: departamentos de Risaralda, Chocó, Valle del Cauca
- Ventana Munchique-Pinche: departamento de Cauca
- Ventana Esmeraldas: provincia de Esmeraldas (Ecuador)

Los indicadores para el sistema de monitoreo socioambiental se seleccionaron, priorizaron y estandarizaron para los dos países; para cada uno se desarrolló una hoja metodológica en la que se definen las variables para el cálculo, el método de cálculo, la importancia del indicador, periodicidad... (Cuadro 1).

La información proveniente de sensores remotos y el análisis de los cambios en las coberturas vegetales permiten lograr una aproximación válida al estado de conservación de los ecosistemas en las áreas de interés. Puesto que las fuentes de información son accesibles y se disponía de

equipos técnicos y capacidad para generar datos, información e indicadores de estado de los ecosistemas, fue posible desarrollar metodologías válidas y replicables para el análisis espacial de la conservación de la estructura y funcionalidad de los ecosistemas en un área determinada.

La transformación del paisaje y los cambios en las coberturas vegetales en el tiempo cobran gran importancia pues, en poco más de una década, la fragmentación (el rompimiento de amplias extensiones de hábitat o áreas de tierra en pequeñas parcelas), se ha convertido en un problema ambiental de proporciones mundiales (Forman 1995). La fragmentación es provocada por disturbios que resultan en la reducción y aislamiento de áreas de hábitat natural a nivel de paisaje (Noss 1987, Schelhas y Greenberg 1996, ambos en Correa Do Carmo 2000). Según Volgemann

(1995), la fragmentación puede ser también considerada como el proceso de “cortar profundamente áreas grandes y contiguas de tipos similares de vegetación nativa en numerosos segmentos menores separados por tipos de vegetación relacionados con la actividad humana intensiva”.

La transformación y el cambio, ya sea natural o inducido por el hombre, es la norma en todos los procesos naturales y sociales. El equilibrio y lo estático es apenas una fase que nunca persiste indefinidamente (Forman 1995). El monitoreo de los cambios en las coberturas vegetales y el estado de conservación del CCCM a nivel de paisaje genera información valiosa para implementar estrategias tendientes al mejoramiento de los procesos sociales en una región con cerca de 192.000 km², inserta en el Complejo Ecorregional Andes del Norte (CEAN).



Figura 2. Ventanas de estudio y áreas protegidas en el Corredor de Conservación Chocó-Manabí

El estado de fragmentación en el CCCM y el cambio en la cobertura natural en un período determinado brindan una aproximación para el estudio de la estructura, patrón y procesos ecológicos que hacen del CCCM una de las regiones mas ricas en biodiversidad y que exige monitoreo y flujos de información efectivos y constantes entre los actores.

Metodología

El área de estudio

El estudio para determinar los cambios en la extensión del área de bosque (deforestación) y continuidad del mismo (fragmentación) se realizó para toda la extensión del corredor y para áreas piloto definidas a partir de criterios biológicos y geográficos, de ordenamiento territorial, de gestión y de amenazas para la biodiversidad (Fig. 2).

Como área piloto se seleccionó la ventana **Tatamá-Paraguas**, la cual tiene influencia en 14 municipios de tres departamentos del centro-occidente colombiano y cubre una extensión de 565.370 ha. Los límites de la ventana se definieron a partir de la información geográfica existente para el corredor, generada por Conservación Internacional (CI). La delimitación del área de estudio responde fielmente a los criterios establecidos, y abarca áreas protegidas como la Serranía de los Paraguas y el Parque Nacional Natural Tatamá; además, forma parte de la ventana San Juan definida por CI como ventana prioritaria para complementar acciones tendientes a consolidar una estrategia de conservación a nivel de microcorredores de conservación y enmarcadas en el concepto de mosaicos de conservación. Las dos áreas mencionadas conforman el corredor Citará-Caramanta-Tatamá-Paraguas. También se identificó un número representativo de áreas de reservas de la sociedad civil y otras iniciativas de conservación (Fig. 2).

Cuadro 1. Indicadores seleccionados para la Ventana Tatamá-Paraguas

Indicador	Variabes para el cálculo
Cambios en la extensión de cobertura natural	Superficie total de las formaciones naturales de interés en el año base; superficie total de las formaciones naturales de interés en un año determinado.
Fragmentación de ecosistemas en áreas de interés	Número de parches o fragmentos; tamaño medio del parche o fragmento; índice de forma medio ponderado; distancia media al parche más cercano.

Trabajo con imágenes satelitales

Con el propósito de garantizar la utilidad, validez de los procesos, monitoreo y uso futuro de la información, se describen a continuación brevemente los aspectos metodológicos del trabajo con imágenes satelitales, a partir de la metodología desarrollada por Steininger et ál. (2006).

1. Seleccionar y adquirir imágenes para dos fechas definidas.
2. Corregistrar imágenes y combinarlas en una imagen multitemporal de dos fechas (bandas 1-5 y 7 de cada fecha) (*Layer Stacking, Erdas Images 9.1*).
3. Clasificar imágenes en Erdas Imagine con metodología supervisada (MLC - *Maximum Likelihood Classifier*).
4. Filtrar clasificaciones para eliminar parches con superficie menor de 2 ha.
5. Combinar clasificaciones filtradas en un mosaico.
6. Producir mapa de fechas para el análisis de la tasa de deforestación con precisión temporal.
7. Analizar la cobertura de bosque y deforestación.
8. Producir imágenes de fragmentación (distancia de bosque de un borde con no bosque o agua y tamaño de parche de bosque).

9. Calcular métricas de fragmentación en la Ventana Tatamá-Paraguas.

10. Generar los mapas temáticos como resultado de los análisis.

Imágenes usadas

Landsat (TM 4 y 5 para fecha cercana a 1990 y ETM para fecha cercana al 2000); bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 (Cuadro 2). Las imágenes Landsat son probablemente la información de satélite más ampliamente usada para estudios de vegetación (Steininger et ál. 2006). Las imágenes se seleccionaron para minimizar nubes dentro de las áreas piloto y se delimitaron para la implementación del sistema de monitoreo. Las imágenes usadas como base para georreferencia fueron ortorrectificadas por el proyecto Geocover, disponibles de manera gratuita en el sitio de *Global Land Cover Facility* de la Universidad de Maryland (<http://glcf.umd.edu/index.shtml>).

Para el análisis de deforestación y fragmentación en el CCCM se combinaron imágenes de cada fecha para producir un archivo de 12 bandas por medio de *Layer Stacking en Erdas Imagine 9.1*. Las características de las bandas utilizadas para la interpretación y análisis de cambios

Cuadro 2. Características de las imágenes Landsat utilizadas

PathRow	Primera fecha (año,mes,día)	Segunda fecha (año,mes,día)	Base de georreferencia
009056	19870725	20011214	20000821
009057	19860924	20001109	20010418
010056	19860219	20020412	20000218
010057	19861102	20000921	20000218
010059	19860219	20010409	20000218
011059	19860314	20000819	20000108
011060	19870301	19980619	20010331

de uso se describen en el Cuadro 3. Para la primera fecha, la combinación de bandas para interpretar las coberturas debe ser 4, 5, 3 (Fig. 3A); para la segunda fecha, la combinación debe ser 10, 11, 9 (Fig. 3B) u 11, 5, 5 (Fig. 3C). En esta última, las áreas en rojo representan el cambio de bosque a no bosque entre la primera fecha y la segunda.

Cálculo de métricas de fragmentación

Para el cálculo de las métricas de fragmentación en el corredor se utilizó el 'software' *Erdas Imagine 9.1*; para la ventana Tatamá-Paraguas los cálculos se hicieron con *Fragstats 3.3*. Las métricas siguientes se calcularon teniendo en cuenta las hojas metodológicas para los indicadores de cambio en las extensiones de cobertura natural y de fragmentación de ecosistemas generadas para el proyecto:

- Métricas a escala de corredor: tamaño de parche, distancia borde y área núcleo.
- Métricas a escala de ventana Tatamá Paraguas: ver indicadores en Cuadro 1.

Proceso de cálculo de los indicadores

Los indicadores de fragmentación de los ecosistemas son indicadores de estado que ofrecen una visión de la composición y configuración de los ecosistemas a través de medidas de área, forma o borde de los frag-

mentos. Estos factores determinan la dinámica de los procesos ecológicos al interior de los ecosistemas y se convierten en una herramienta de análisis a tener en cuenta en la toma de decisiones políticas para el manejo de los recursos naturales. Si entendemos la fragmentación como la división de un hábitat originalmente continuo en relictos remanentes inmersos en una matriz transformada, los índices de fragmentación reflejan los patrones y tendencias espaciales de los ecosistemas. En consecuencia, se calcularon los siguientes indicadores de fragmentación:

- NP: número de fragmentos de un ecosistema
- TPF: tamaño medio de los fragmentos en hectáreas
- FF: índice de forma promedio
- DPF: distancia media al vecino más cercano en metros

Número de fragmentos

El número de fragmentos de un tipo particular de parche es una medida simple de la subdivisión o fragmentación del mismo. Sin embargo, el número de parches de una clase puede ser importante para los procesos ecológicos, aunque con frecuencia tiene un limitado valor interpretativo dado que no contiene información acerca del área, distribución o densidad de los parches (MacGarigal y Marks 1995).

El número de fragmentos de una clase determinada -en este caso, bos-

que- se calcula sumando el número de fragmentos en que está dividido un ecosistema en un área de interés. El indicador es 1 cuando el ecosistema o la clase determinada en un tiempo determinado no está fragmentado, y aumenta a medida que el ecosistema se fragmenta (Instituto A. Von Humboldt 2003).

Tamaño medio de los parches

Al área total de la clase 'bosque en el paisaje' es una medida de la composición del paisaje, específicamente cuanto corresponde a un tipo de cobertura o clase; esta es una característica con importantes implicaciones ecológicas (MacGarigal y Marks 1995). El tamaño medio de los fragmentos de un ecosistema se calcula sumando la superficie de todos los fragmentos de dicho ecosistema que se encuentran en un área de interés y dividiendo luego el resultado por el número de fragmentos.

Forma de los parches

Las formas compactas son efectivas para proteger los recursos interiores contra los efectos deletéreos del ambiente exterior; por eso, los fragmentos más elongados son menos efectivos para la conservación de los recursos internos que los fragmentos redondeados. Esto es particularmente verdadero en la protección de especies de hábitat interior y especies intolerantes a la actividad humana (Forman 1995).

Cuando el valor del índice de forma es igual o cercano a 1 es porque los parches (polígonos) son circulares y compactos. Entre más lejos esté de 1, más convoluta o irregular es la forma. El índice de forma corresponde a la suma del perímetro de los parches dividido por la raíz cuadrada del área del parche (hectáreas) para cada clase determinada (nivel o escala de clase) o para todos los parches en conjunto (escala de paisaje) (MacGarigal y Marks 1995).

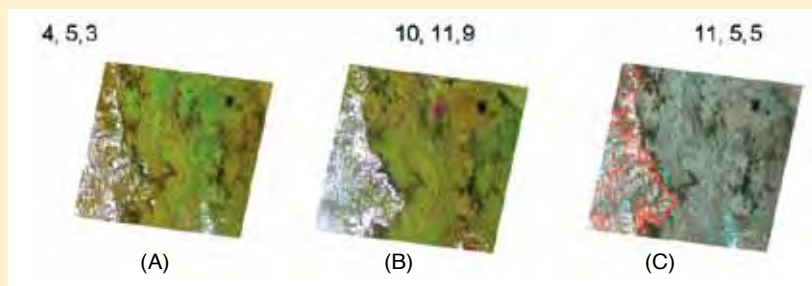


Figura 3. Combinaciones de bandas de imágenes Landsat para análisis de deforestación

Distancia entre parches de bosque y conectividad

El valor de conservación de un determinado fragmento de bosque puede aumentar o disminuir de acuerdo al patrón de los otros elementos del paisaje a su alrededor (Noss 1987 en Correa Do Carmo 2000). El intercambio continuo de individuos (y genes) entre poblaciones fragmentadas y el mantenimiento de algunas especies en los fragmentos por el método de rescate dependen de las tasas de inmigración entre fragmentos (Simberloff y Cox 1987, Rosenberg et ál. 1997, Hill 1995, todos en Correa Do Carmo 2000). Las relaciones espaciales entre parches que restringen o facilitan el movimiento de los organismos en el paisaje determinan la persistencia regional de las poblaciones (Fahrig y Merina 1994 en Correa Do Carmo 2000).

La distancia media al fragmento vecino más cercano se calcula sumando la distancia que separa un fragmento de un ecosistema de su vecino más cercano, dividiendo luego el resultado por el número de fragmentos. El indicador se aproxima a 0 cuando todos los fragmentos en que está dividido un ecosistema en un áreas de interés en un tiempo determinado están cercanos unos de otros y aumenta cuando dichos fragmentos se encuentran separados (Instituto A. von Humboldt 2003).

Resultados y discusión

Como resultado del procesamiento y clasificación de las imágenes Landsat se generó una nueva cobertura vegetal para el corredor con las siguientes clases (Fig. 4): 1=bosque, 2=no bosque, 4=agua, 5=nube/sombra, 6=hielo/nieve, 7=manglares. La selección de áreas piloto (ventanas) para la implementación preliminar y validación de la información a través de los indicadores permitió obtener datos a escala regional y local que ayudan a determinar el estado

Cuadro 3. Características de las bandas de la imagen Landsat primera fecha

Canal	Rango de longitud de onda	Aplicación
4	0,76 – 0,90 (IR cercano)	Identificación de plantas/tipos de vegetación, estado de salud y contenido de biomasa; delineación de cuerpos de agua; contenido de humedad del suelo.
5	1,55 – 1,75 (IR medio)	Sensibilidad al contenido de humedad en suelo y vegetación; discriminación de nieve y áreas de cobertura nubosa.
3	0,63 – 0,63 (rojo)	Discriminación de especies de plantas vegetativas y no vegetativas (absorción de clorofila por la planta); identificación de rasgos culturales urbanos.

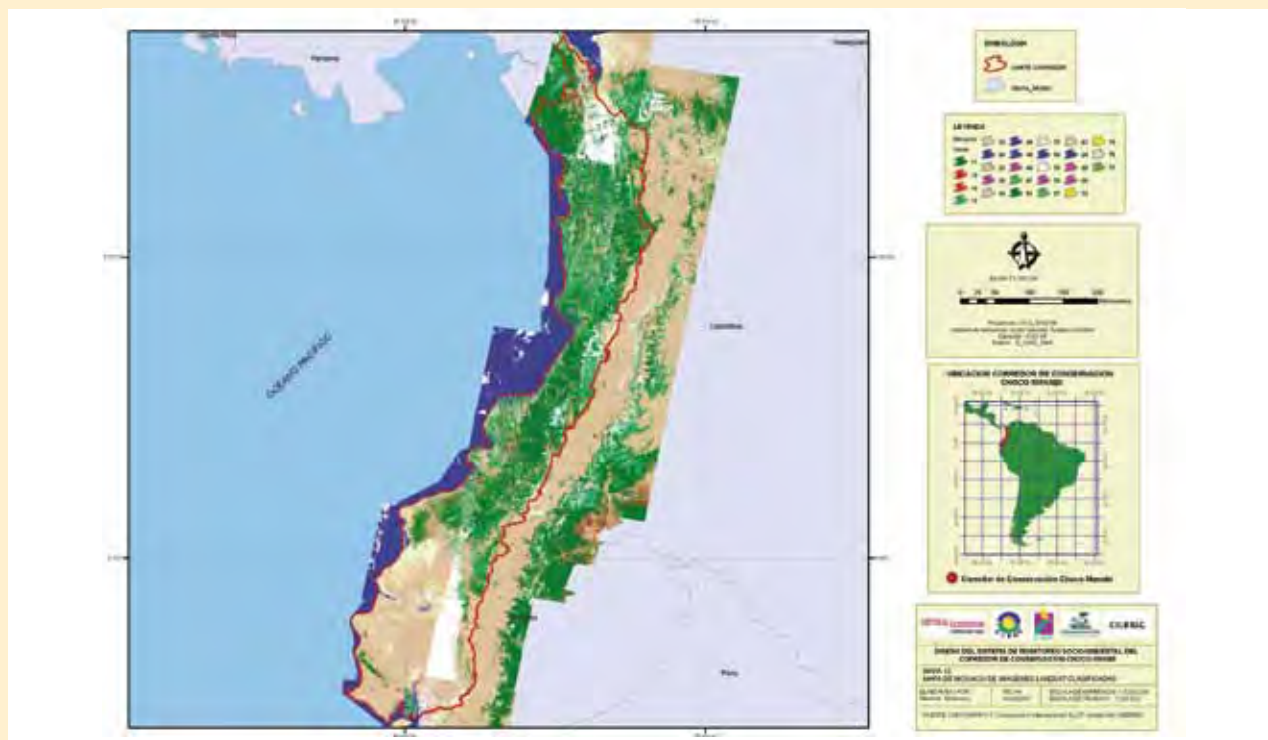


Figura 4. Mosaico de imágenes clasificadas para el análisis de deforestación y fragmentación. Corredor de Conservación Chocó-Manabí

de conservación del CCCM tanto a escala nacional como regional.

Cambios en la cobertura boscosa en el CCCM

En el año 1990, la cobertura del bosque en el CCCM representaba el 52% del área total del corredor (98.938 km²); para el año 2000, tal cobertura había disminuido en 2,5%, con una deforestación pro-

medio anual de 250,5 km². En ese momento, la cobertura era de 96.432 km² (50,7% del área total del corredor). Las áreas deforestadas aparecen en rojo en las Figuras 4 y 5.

A nivel de ventanas, la ventana binacional presentó la mayor disminución en el área de bosque: 26.129 km² en 1990 y 25.517 km² en 2000, lo que equivale a una tasa de deforestación anual de 61,1 km² (Cuadro 4).

Por otro lado, la ventana San Juan presentó una de las más bajas disminuciones en cobertura boscosa (15,5 km²) comparada con la tendencia general del corredor, pero no por esto menos determinante.

Índices de fragmentación en el CCCM

El uso común del término “métricas de paisaje” se refiere exclusivamente a los índices desarrollados para patrones categóricos del mapa. Las métricas de paisaje son algoritmos que cuantifican características espaciales específicas de parches, clases de parches o mosaicos de paisaje completos. Una gran cantidad de métricas para cuantificar patrones de paisaje han sido desarrolladas. Estas métricas se dividen en dos categorías generales: aquellas que cuantifican la *composición* sin referencia a atributos espaciales y aquellas que cuantifican la *configuración espacial* y que, por lo tanto, requie-

Cuadro 4. Estimación del cambio en la extensión de la cobertura boscosa en el Corredor de Conservación Chocó-Manabí

Ventana	Bosque 1990		Bosque 2000		Cambio de bosque total		Cambio de bosque promedio anual	
	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%
Corredor Choco-Manabi	98.129	52,0	96.432	50,7	-2.505	-2,5	-250,5	-0,26
Binacional	26.129	69,2	25.517	67,6	-611	-2,3	-61,1	-0,24
Esmeraldas	6327	81,7	6.108	78,8	-219	-3,5	-21,9	-0,35
Mache Chindul	1648	34,4	1.503	31,4	-145	-8,8	-14,5	-0,92
Machalilla	208	5,9	196	5,6	-12	-5,6	-1,2	-0,57
Munchique-Pinche	1899	54,0	1.855	52,8	-44	-2,3	-4,4	-0,23
San Juan	19.839	81,1	19.684	80,5	-155	-0,8	-15,5	-0,08
Tatama 1	4.842	85,9	4.798	85,1	-44	-0,9	-4,4	-0,09

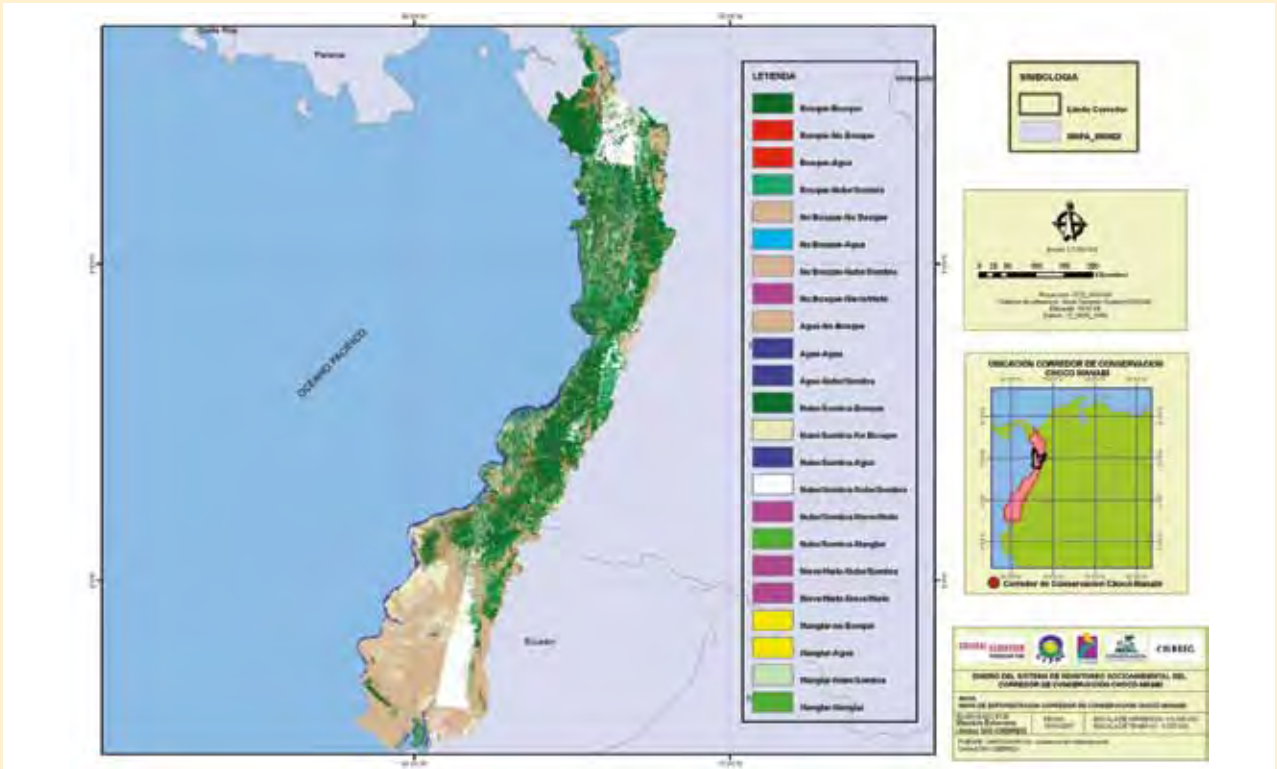


Figura 5. Deforestación en el Corredor de Conservación Chocó-Manabí

ren información espacial para su cálculo (McGarigal y Marks 1995, Gustafson 1998). Estas últimas son las que se utilizaron en este estudio.

Tamaño de parche.- El área de un parche que comprende el paisaje es, tal vez, la información más importante y útil del paisaje. No solo es la base para el cálculo de muchas de las métricas a nivel de parche, clase y paisaje, sino que tiene mucha utilidad ecológica (MacGarigal y Marks 1995). El área total de la clase 'bosque en el paisaje' es una medida de la composición del paisaje; específicamente cuánto del paisaje corresponde a un tipo de cobertura o clase; por ello, esta característica tiene importantes implicaciones ecológicas.

En la Fig. 6A se muestra el cambio en el área absoluta de bosque en las varias categorías de tamaño de parche, por todo el corredor Chocó-Manabí. La Fig. 6B muestra lo mismo, pero como porcentaje. La tendencia es hacia un decrecimiento de área de bosque en parches grandes y un aumento de área de bosque en parches pequeños. Sin embargo, la mayor parte de bosque en el corredor (>80%) sigue presentando tamaños de parches entre 10.000 km² y 100.000 km².

Distancia borde.- Las Figuras 7A y 7B muestran la pérdida de bosque núcleo o áreas de hábitat interior en los parches y el incremento de bosque más cerca de un borde entre la clase bosque y la clase no bosque/agua, en términos de área absoluta y porcentual. Las Figuras 7C y 7D muestran que hay una distribución uniforme del bosque en distancias entre 0 y 5 km de un borde, con muy poco bosque a una distancia mayor a 5 km desde el borde; casi el 20% del bosque se encuentra a menos de 0,1 km de un borde y 45% a menos de 0,5 km de un borde.

En la Fig. 8 se aprecian los cambios en la extensión de la cobertura boscosa y la fragmentación sufridos por el CCCM entre los años 1990 y 2000.

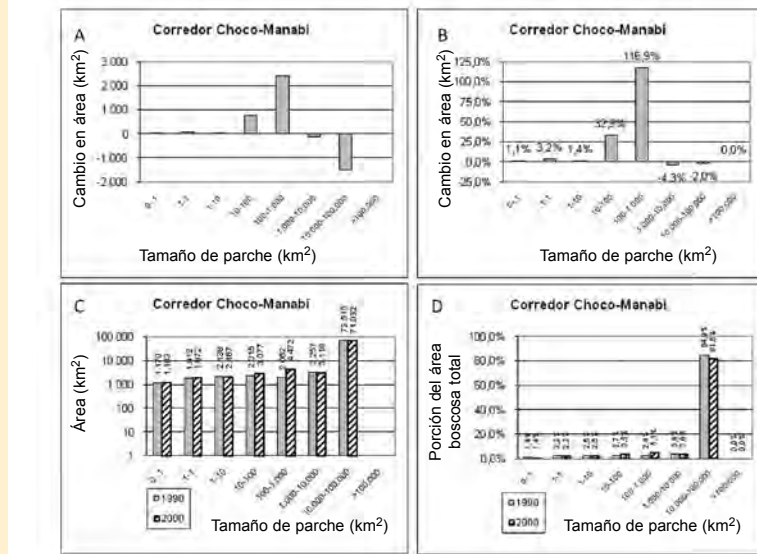


Figura 6. Cambios en el tamaño de parche en el Corredor de Conservación Chocó-Manabí

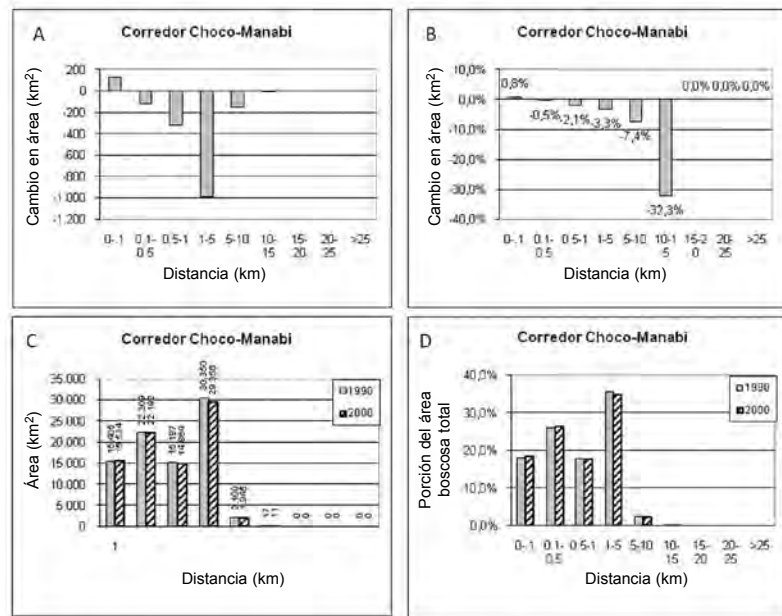


Figura 7. Distancia borde y área núcleo en el Corredor de Conservación Chocó-Manabí

Cambios en la cobertura boscosa en la ventana Tatamá - Paraguas. Entre los años 1990 y 2000 se dio un cambio en la cobertura boscosa equivalente a 204,71 ha por año en la ventana Tatamá - Paraguas. El

área bajo bosque pasó de 443.206 ha en 1990 a 441.159 ha en el 2000 con una disminución de 2047 ha (parches rojos en la Fig. 9). Estos parches se concentran en la cuenca del río San Juan, inmediaciones

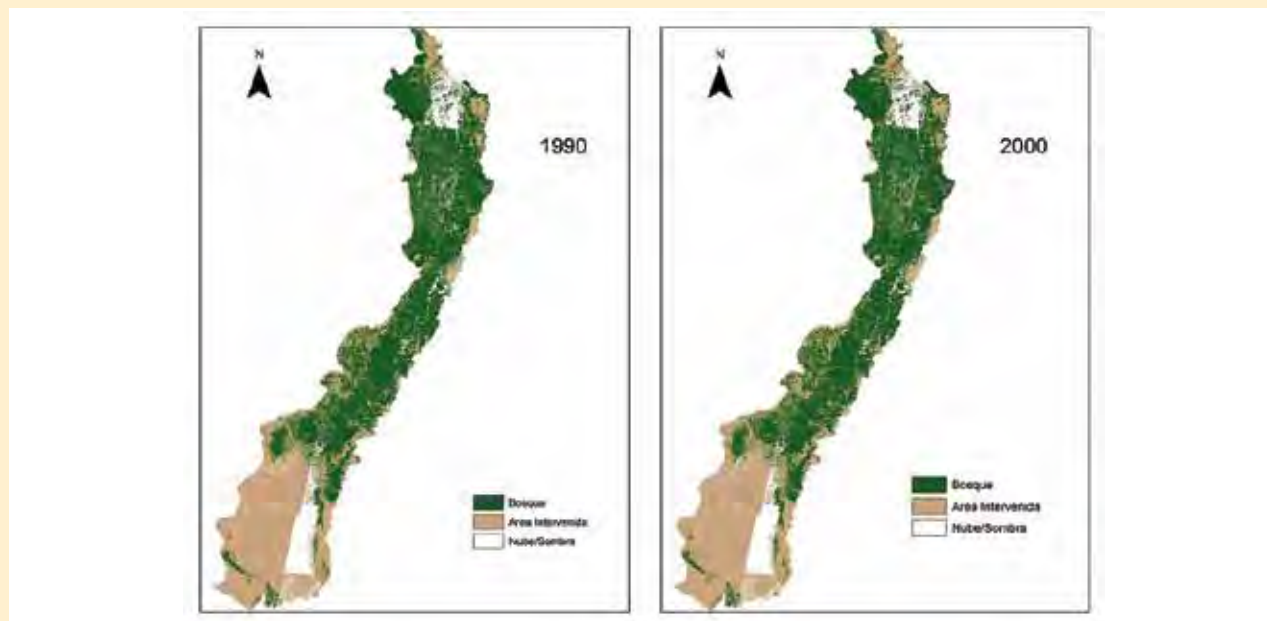


Figura 8. Cambios en la extensión de la cobertura boscosa y fragmentación en el CCCM entre los años 1990 y 2000

de los municipios de San José del Palmar y Condoto, departamento del Chocó y muy posiblemente son el resultado de la expansión de la frontera agropecuaria.

Índices de fragmentación en la ventana Tatamá-Paraguas

Número de parches.- En la ventana Tatamá-Paraguas, el número de parches de la clase bosque aumentó de 1064 a 1070, lo que evidencia la fragmentación de parches continuos: a mayor número de parches, mayor fragmentación en el paisaje. Esto se comprueba si se observa la clase 'área intervenida', que se va consolidando en áreas intervenidas conti-

nuas con menos divisiones por parches de bosque. También existe un aumento en el número de parches de la clase páramo; si bien se trata de ecosistemas diferentes, estos pueden verse afectados por los fenómenos que generan la fragmentación de las áreas de bosque.

Tamaño de parche.- El tamaño medio de los parches de bosque presentó una pequeña disminución entre los dos años estudiados. En 1990, el tamaño medio era de 416,54 ha, pero en el 2000 se había reducido a 412,29 ha. Por otro lado, y en congruencia con la disminución de área de bosque hacia la clase 'área intervenida', el tamaño medio de parche

en esta clase aumentó de 19,27 ha a 19,86 ha (Cuadro 5).

Índice de forma promedio.- La forma se refiere a la figura de un área bidimensional, determinada por la variación de sus márgenes o bordes. La forma de los parches es importante para la ecología, especialmente porque afecta directamente los movimientos y flujos entre ecosistemas adyacentes (Forman 1995). El índice de forma promedio para las áreas de bosque en la ventana Tatamá-Paraguas tuvo un leve aumento en la serie de tiempo estudiada: 1,51 en 1990 y 1,52 en el 2000 -lo que indica formas circulares y compactas que empiezan a registrar afectación en los

Cuadro 5. Métricas de paisaje a nivel de clase

Ventana (n)	Año (a)	Cobertura (i)	Número de parches o fragmentos (NF)	Tamaño medio del parche o fragmento (TPF)	Índice de forma medio ponderado (FF)	Distancia media al parche más cercano (DPF)
Tatamá-Paraguas	2000	Área intervenida	3986	19,86	1,57	0,07
		Bosque	1070	412,29	1,52	0,05
		Páramo	58	17,84	1,82	
	1990	Área intervenida	3988	19,27	1,57	
		Bosque	1064	416,54	1,51	0,04
		Páramo	52	19,41	1,52	



bordes. Las formas con valor cercano a 1 son ideales para la protección de la biodiversidad contra el impacto de las actividades humanas sobre los flujos de genes y organismos en áreas de bosque. Aunque el valor es aún cercano a 1, el incremento es una señal de alarma acerca de una tendencia que podría caracterizar la dinámica de las áreas naturales del corredor (Cuadro 5).

Las áreas de páramos en la ventana sufren también los efectos de la intervención humana en ecosistemas estratégicos. El índice de forma promedio para áreas en páramo evidencia un aumento de 1,52 a 1,82 en el periodo de tiempo estudiado.

Distancia entre parches de bosque y conectividad.- El valor de conservación de un determinado fragmento de bosque puede aumentar o disminuir de acuerdo al patrón de los otros elementos del paisaje a su alrededor (Noss 1987 en Correa Do Carmo 2000). Valores cercanos a

0 indican cercanía entre los parches de una clase determinada. Entre los parches de bosque se encontró una mayor cercanía entre fragmentos con un valor de 0,04 en 1990 y 0,07 en el año 2000. Este valor aumentó como consecuencia de la división de áreas continuas de bosque en un número mayor de fragmentos.

En la Fig. 10 se aprecian los cambios en la extensión de la cobertura boscosa y la fragmentación sufridos por la ventana Tatamá-Paraguas entre los años 1990 y 2000.

Conclusiones

- El sistema de monitoreo socioambiental para el Corredor de Conservación Chocó-Manabí se perfila como la estructura idónea para el manejo apropiado de la información que generen los proyectos e iniciativas de gestión del territorio que allí se desarrollan. Asimismo, es un ejemplo de articulación y estandarización de pro-

cedimientos entre dos países para el estudio de fenómenos naturales que trascienden los límites político-administrativos.

- Los sistemas de información geográfica bien estructurados y funcionales permiten un manejo adecuado de la información proveniente de sensores remotos, lo que ayuda a consolidar metodologías prácticas, válidas y replicables para la gestión de información, datos e indicadores del sistema de monitoreo.
- Las áreas de bosque en el CCCM representan aproximadamente el 50% del área total del corredor; sin embargo, los procesos de transformación y deforestación aumentan la fragmentación de los ecosistemas, lo que afecta su funcionalidad y la provisión de bienes y servicios ambientales para las poblaciones asentadas en el corredor.
- Existe una diferencia notable en el estado de los ecosistemas del corre-

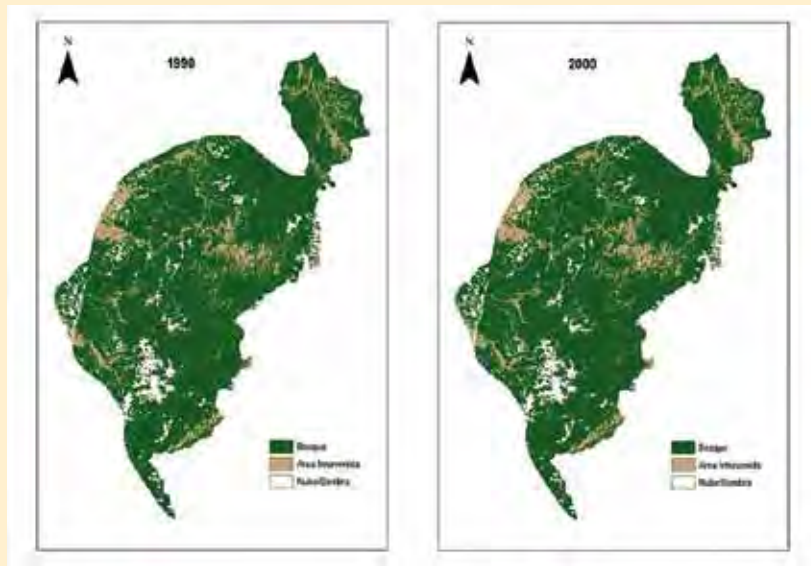


Figura 10. Cambios en la extensión de la cobertura boscosa y fragmentación en la ventana Tatamá-Paraguas entre los años 1990 y 2000

dor entre Colombia y Ecuador. La sección ecuatoriana alberga una mayor población –y por ende, más sistemas productivos; por ello, la transformación y deterioro de las áreas naturales es más notoria. En contraste, en la sección colombiana hay poco desarrollo socioeconómico, por lo que los recursos naturales se conservan mejor.

- La ventana binacional presentó la mayor deforestación en el periodo estudiado, pero las razones son diferentes en cada país. En Ecuador la deforestación tiene que ver con el desarrollo de empresas camaroneras y en Colombia con el establecimiento de cultivos ilícitos.
- Aunque prevalecen grandes extensiones de bosque –especialmente

en la parte norte del corredor– se evidencian el aumento gradual en la fragmentación de las áreas de bosque y el consiguiente aumento de las áreas transformadas. Tales factores afectan los procesos ecológicos en el *hotspot* Tumbes-Chocó-Magdalena.

- A escala regional, en la ventana Tatamá-Paraguas –una ventana con una extensión considerable de áreas protegidas– se da una deforestación localizada desde el centro hacia fuera en el curso del río San Juan.
- En la ventana Tatamá-Paraguas, en el periodo de estudio, aumentó el número de parches de bosque, pero disminuyó el tamaño medio de los mismos y aumentó la distancia entre parches. Tal comportamiento es lógico en un área con asentamientos humanos a lo largo de los cursos de ríos.
- El monitoreo constante (cada cinco años según la hoja metodológica del indicador) de la fragmentación a nivel de paisaje y de clase en el corredor y en las ventanas definidas es indispensable para entender la dinámica y estructura de los ecosistemas en el CCCM.

Literatura citada

- Correa Do Carmo, AP. 2000. Evaluación y diseño de un paisaje fragmentado para la conservación de la biodiversidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p 7-28.
- Forman, RTT. 1995. Land mosaics- The ecology of landscapes and regions. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press. 632 p.
- Gustafson, EJ. 1998. Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems* 1(1):143-156.
- Instituto Alexander Von Humboldt. 2003. Indicadores de fragmentación de los ecosistemas en áreas de interés. Bogotá, Colombia, Sistema de Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad, Unidad de Sistemas de Información Geográfica.
- MacGarigal, K; Marks, BD. 1995. Fragstats: Spatial pattern analysis program for Quantifying landscape structure. Portland, US, Department of Agriculture, Forest Division. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351.
- Steininger, M; Epting, J; Harper, G. 2006. Forest cover mapping and change detection using moderate-resolution satellite imagery (Landsat, Aster and Modis). Washington, US, International Conservation. 4 p.
- Volgemann, JE. 1995. Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology* 9(2):439-449.

Uso de métodos geofísicos e isotópicos en la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual para los acuíferos de Pereira y Dosquebradas, Colombia

Doris Liliana Otálvaro¹;
Gabriel Fernando Arias;
María Eugenia Veléz

A partir de la integración de los métodos geofísicos, registros eléctricos de pozos, datos de aljibes e información litológica, se definieron tres niveles para el acuífero de Pereira y se estableció la profundidad del basamento encontrando un espesor máximo de 750 m en el sector del Agrado. Mediante la aplicación de técnicas isotópicas se definió que la recarga de este acuífero ocurre principalmente por infiltración directa al nivel de su afloramiento (por debajo de los 1500 msnm). Con estos resultados, la Corporación Autónoma Regional de Risaralda definió lineamientos especiales de protección para la zona estudiada.

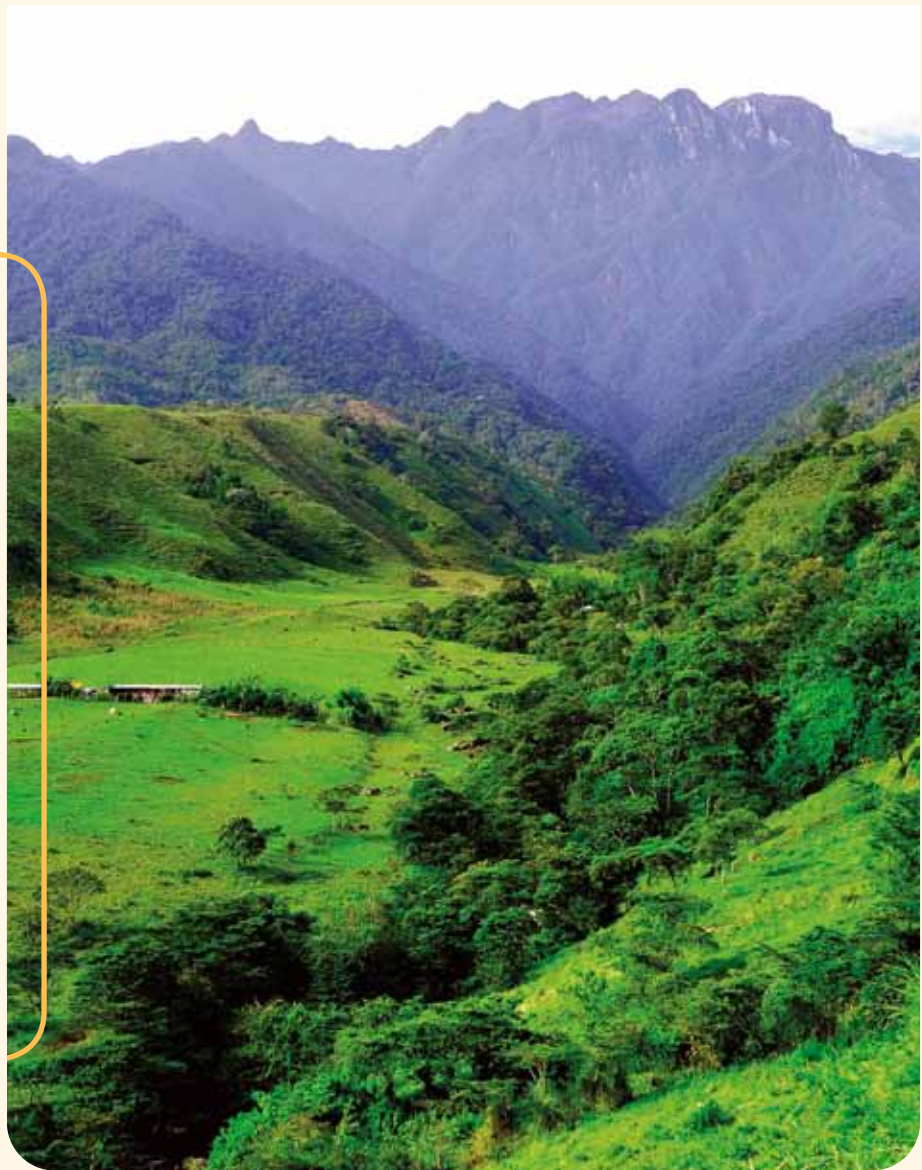


Foto: CARDER.

¹ Corporación Autónoma Regional de Risaralda – CARDER. Avenida de Las Américas – Calle 46, teléfono (57) 6 3116511, Pereira – Colombia. www.carder.gov.co

Resumen

Mediante técnicas no convencionales de investigación hidrogeológica, como la hidrología isotópica, y una gama de métodos geofísicos y estudios interdisciplinarios realizados en los acuíferos de Pereira y Dosquebradas, Colombia, se logró identificar rasgos particulares de los acuíferos, como la variación de la geometría y la delimitación de la zona de recarga. Estos descubrimientos han permitido enfocar las acciones de la CARDER hacia el uso sostenible y la protección efectiva del recurso hídrico subterráneo, en términos de calidad y cantidad.

Palabras claves: Métodos; geofísica; isótopos; hidrogeología; modelos de simulación; recursos hídricos; Pereira; Dosquebradas; Colombia

Summary

Geophysical and isotopic methods for the development of a hydro-geological model in Pereira and Dosquebradas aquifers, Colombia. By means of non-conventional hydro-geological research techniques, such as isotope hydrology, and a series of geophysical methods and interdisciplinary studies conducted in Pereira and Dosquebradas aquifers, Colombia, particular features of the aquifers were identified. Findings such as the variation of geometry and the delimitation of the recharge zone have helped CARDER to focus its actions towards sustainable use and effective protection of subterranean water resources in terms of quality and quantity.

Keywords: Methods; geophysics; isotopes; hydrogeology; simulation models; water resources; Pereira; Dosquebradas; Colombia.

Introducción

La Corporación Autónoma Regional de Risaralda (Carder) tiene como misión contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida de la población mediante la conservación y recuperación del medio ambiente. En el 2007, Carder formuló el Plan de Manejo Integrado del Agua Subterránea en la región, como resultado de su participación en un convenio internacional firmado entre el Gobierno Colombiano y el Organismo Internacional de Energía Atómica (2001-2005); posteriormente la Corporación suscribió un convenio administrativo con la Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá (2006-2007). Mediante estos convenios se aplicaron técnicas no convencionales, que incluyeron estudios geofísicos (geoeléctrica, gravimetría, magnetometría y sísmica) y de hidrología isotópica, (isóto-

pos estables ^{18}O y ^2H y radiactivos ^{13}C , ^{14}C y ^3H) de agua de lluvia, superficial y subterránea, con el fin de refinar el modelo hidrogeológico conceptual y desarrollar herramientas apropiadas para diseñar estrategias de gestión y de protección de estos recursos.

En los municipios de Pereira y Dosquebradas (Risaralda, Colombia), las aguas subterráneas no son la fuente principal de abastecimiento; sin embargo, para algunos sectores rurales, suburbanos y de expansión urbana, estos recursos hídricos son esenciales para usos domésticos, agrícolas, pecuarios e industriales. De hecho, dos acueductos rurales (Puerto Caldas y Cerritos, al occidente de Pereira) son aprovechados por personas de todos los estratos socioeconómicos en caseríos, condominios, fincas, haciendas e industrias. El denominado acuífero de Pereira, principal unidad hidrogeológica de

la zona estudiada, se localiza en la región cafetera colombiana, en una cuenca hidrográfica formada entre el río Cauca a 950 msnm y el Parque Natural de los Nevados a 4900 msnm, hasta el parte aguas del río Otún (Fig. 1). El área abarca 890 km² y cubre territorios de los municipios de Pereira, Dosquebradas, Marsella y Santa Rosa de Cabal.

Debido a lo quebrado del terreno, se presentan los pisos térmicos cálido, medio, frío y páramo, con temperatura promedio anual que varía desde 22°C en el valle del río Risaralda a 12°C en los nevados. La precipitación es bimodal, con máximos de hasta 2800 mm en abril-mayo y octubre-noviembre y mínimos de 1700 mm en enero-febrero y julio-agosto (Carder et al. 1998). El sistema hidrográfico lo comprenden los ríos Cauca, Barbas, La Vieja, Otún y Consota y las quebradas Cestillal y El Piñal.

Problemática

La gestión de los recursos hídricos subterráneos debe basarse en la caracterización integral de los acuíferos (zonas de recarga, de tránsito y de descarga), de sus usuarios, de las tendencias de aprovechamiento y de los factores externos que puedan amenazar su sostenibilidad en el tiempo tanto en cantidad como en calidad. Por ello, la Carder enfrentó una serie de retos al construir el modelo conceptual; entre ellos:

1. A pesar de que el acuífero tiene una gran extensión, la zona de estudio debió limitarse a Risaralda, el área jurisdiccional de la Carder; sin embargo se definieron fronteras que incluyeran las zonas de alimentación del acuífero, coincidentes con divisorias de aguas superficiales y con zonas de descarga natural.
2. La formación Pereira (principal unidad acuífera) se ubica sobre una paleotopografía irregular, lo que dificulta conocer la posición del basamento (Arias 2004). Este basamento lo conforman una unidad terciaria predominantemente arcillosa (formación Cartago, Toc) en el sinclinal de Miravalles y otra cretácica (formación Barroso, Kbv); ambas unidades son afectadas por el sistema de fallas de Romeral (Arias 2004).
3. Los métodos geoelectrónicos usados para definir el espesor de los acuíferos en la zona no lograron detectar el techo del basamento en muchos sectores.
4. El acuífero principal es aprovechado tanto por aljibes de poca profundidad, como por pozos de hasta 250 m, con niveles piezométricos diferentes. Esto sugiere que, al menos localmente, pueden presentarse capas o lentes acuíferas de continuidad desconocida.
5. En Dosquebradas existen acuíferos de carácter local interdigitados con el acuífero principal, lo que podría indicar una conexión hidráulica entre los mismos.



Figura 1. Localización de la zona de estudio

6. Se presumía una recarga sustancial desde zonas elevadas de la formación Pereira a partir de 2000 msnm, sin embargo no se tenían herramientas para determinar con precisión la altura de recarga.

Marco geológico - estructural

La región es de gran complejidad geológico - estructural debido a los procesos genéticos que dieron origen a las unidades aflorantes y a la densidad de fallas -algunas con actividad reciente - que generan bloques hundidos y levantados, basculamientos e interrupciones de unidades que inciden en la conformación del acuífero de Pereira. La formación de la cuenca se remonta al Paleozoico Inferior (?), con el Complejo Cajamarca (Pes), que conforma la Cordillera Central. Durante el Cretáceo, una dorsal inactiva de la Placa Pacífica colisionó con el continente Suramericano, y su incapacidad de ser subducida causó un evento tectónico de alta compresión y su obducción parcial (formación Quebradagrande) que conformó la Cordillera Occidental. El eje central de la dorsal está caracterizado por rocas intrusivas básicas

y ultrabásicas (Complejo Gabroico Santa Rosa) (Arias 2004).

En el Terciario Inferior y Medio se presentó un largo período con levantamientos esporádicos y erosión. En el Plioceno se inició la actividad volcánica de la Cordillera Central, con la apertura de la Falla de Palestina. Esto dio lugar a la formación del abanico del Quindío, compuesto por una secuencia de tobas, lahares y flujos piroclásticos (en el que se enmarca el acuífero de Pereira). Esta fase fue seguida por la construcción encima del abanico de los edificios volcánicos de tipo escudo. Posteriormente se desarrolló un vulcanismo más ácido que formó una serie de estratovolcanes que sobresalen varios cientos de metros sobre la superficie de los volcanes existentes ya erosionados (Arias 2004).

Esta región se encuentra cruzada por el Sistema de Fallas de Romeral, el cual ha sido descrito para esta región como un sistema con dinámica de tipo lateral izquierdo con componente inversa (Lalinde y Toro 2003). A nivel local presenta una tendencia general norte-noreste, con patrones de fallamiento en dirección NS a NNE-SSW, estructuras con

dirección NW-SE a WNW-ESE y fallas NE-SW (Guzmán et ál. 1998).

Marco hidrogeológico

Las unidades del área de estudio fueron clasificadas en dos grupos, teniendo como base la leyenda hidrogeológica internacional del IAH (Struckmeier y Margat 1995):

Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular

A.1- Los acuíferos con alta productividad corresponden a las formaciones Zarzal y Aluviales del río Cauca y del río La Vieja. Esos acuíferos se caracterizan por ser discontinuos y de extensión local (Cuadro 1).

A.2- El acuífero con moderada productividad corresponde a los depósitos de fluvio-lacustres de Dosquebradas (Qdq). Se han perforado un total de 15 pozos industriales, algunos sin uso actual (Cuadro 1).

A.3- Los acuíferos con baja productividad están representados por la formación Pereira (Tqp), del Plio-Pleistoceno, de gran heterogeneidad litológica, e integrada por dos secuencias principales: la superior de cenizas volcánicas y la inferior de flujos volcanoclasticos. El espesor de esta unidad, está controlado por las Formaciones Cartago (Toc) y Barroso (Kvb), que a su vez están afectadas por la tectónica de la zona, donde las fallas inversas producen levantamientos del basamento y cambios de espesor de la formación Pereira, lo cual puede afectar el sistema de circula-

ción de las aguas subterráneas (Otálvaro et ál. 2005).

Mediante trabajo de campo se han inventariado un total de 161 pozos profundos (Cuadro 1), de los cuales aproximadamente 46 no tienen uso actual. La explotación del acuífero de Pereira se centra en el sector suburbano de Cerritos y en el perímetro de expansión urbana de Pereira. A pesar de su baja productividad relativa, este acuífero es el de mayor interés en la zona, debido a su gran extensión y la marcada tendencia de las captaciones hacia el abastecimiento doméstico (Carder 2007). La conductividad eléctrica en este acuífero es débil (100 a 250 $\mu\text{S/cm}$), con ligero enriquecimiento E-W (hasta 400 $\mu\text{S/cm}$), en el sentido regional del flujo del agua subterránea.

Sedimentos y rocas con limitado a ning n recurso de agua subterr nea

En este grupo se encuentran sedimentos y rocas con muy baja productividad que limitan la formación de acuíferos: formación Cartago (Toc) y algunos depósitos cuaternarios; y un complejo de rocas ígneo-metamórficas muy compactas y fracturadas a nivel superficial; Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central, la formación Quebradagrande (Kvc), la formación Barroso (Kvb), Stock Gabróico de Pereira (Kgp), el Complejo Arquía (Kiea) (Carder 2007).

Métodos empleados

Como se mencionó anteriormente, una de las limitaciones del proyecto

era la delimitación de la geometría del acuífero y definición de un modelo geológico-estructural de la zona. Mediante un convenio entre Carder y la Universidad Nacional de Colombia se ejecutó un proyecto de procesamiento, reprocesamiento, modelamiento e interpretación de información geofísica en un área de 210,75 km^2 del acuífero de Pereira. El trabajo de campo e interpretación de la información fue responsabilidad de estudiantes de maestría en Geofísica de la Universidad Nacional, con el asesoramiento de docentes de la maestría y de funcionarios de la Carder (Serna et ál. 2007).

Se levantaron cinco perfiles magnéticos y gravimétricos este-oeste, diez tomografías eléctricas y una línea sísmica de orientación este-oeste, con una longitud mayor a 2 km en el área de La Carmelita (Fig. 2) (Carder - Universidad Nacional 2007). A partir de los datos gravimétricos y magnéticos procesados se generaron perfiles de anomalía total de Bouguer y de campo magnético total reducido al polo, los cuales fueron interpretados en el contexto geológico de la zona. Además se tomaron en cuenta las propiedades de densidad y susceptibilidad magnética de las rocas cretácicas recolectadas en campo, con el fin de conocer la distribución de las masas que generan estas anomalías y su profundidad (Serna et ál. 2007).

Tomograf as el ctricas

Este método permite la visualización de alguna propiedad eléctrica

Cuadro 1. Características de las captaciones y acuíferos de la zona

Acuíferos	Total pozos perforados	Rango profundidad/ zona filtros	Caudal de explotación (l/s)	Productividad relativa* (lps/m)
Zarzal y aluviales Cauca y La Vieja	21	50 - 160/21 - 149	0,5 - 16	2,0 - 5,0 Alta
Fluvio-lacustres Dosquebradas	15	86 - 235/31 - 228	1 - 20	1,0 - 2,0 Media
Formación Pereira	125	40 - 253/10 - 244	0,1 - 16,7	0,05 - 1,0 Baja

*Según el IAH (Struckmeier y Margat 1995).
Fuente: Otálvaro (2009).

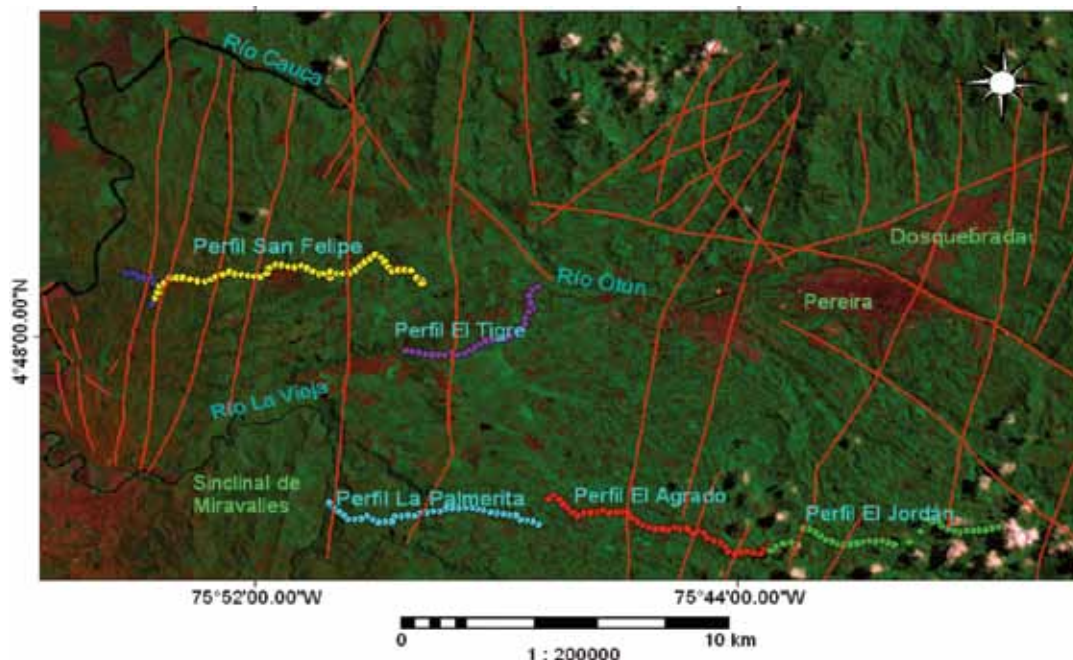


Figura 2. Perfiles gravimétricos y magnéticos del acuífero de Pereira, Colombia
Fuente: Carder - Universidad Nacional 2007.

del subsuelo (resistividad ó impedancia general) mediante secciones continuas, tanto en dirección vertical como horizontal (Briceño 2001). Las diez tomografías se distribuyeron en el sector de Cerritos con el objetivo de caracterizar el miembro superior de la formación Pereira.

M todos s smicos

Sísmica de reflexión: con los datos que proporciona este método, es posible hallar las profundidades de los contactos entre diferentes unidades a partir de los tiempos de recorrido de ondas elásticas originadas cerca de la superficie y reflejadas hasta por las formaciones subterráneas (Carder - Universidad Nacional 2007).

Sísmica de refracción: el objetivo de la refracción sísmica es determinar profundidades hasta medios de mayor velocidad (paleocauces, niveles freáticos, basamento, etc.) (Carder - Universidad Nacional 2007). En la zona, a partir de la

línea sísmica procesada se interpretó la paleotopografía sobre la cual se depositó la formación Pereira, en el sector de La Carmelita (Fig. 3). En la figura, el horizonte 1 (reflector verde), representa la paleotopografía sobre la cual se acumularon los sedimentos, el reflector amarillo indica la profundidad y forma del basamento (obtenido a partir de la refracción y campo de velocidades).

Mecanismos de recarga del acuífero

Otro de los grandes retos enfrentados en la construcción del modelo hidrogeológico conceptual fue la determinación de las zonas de recarga y de la continuidad de las dos capas acuíferas de la formación Pereira, inferidas por las diferencias en niveles mayores a 20 m entre aljibes y pozos profundos en el sector de Cerritos. En esta fase, gracias al apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica, se tuvo la oportunidad de aplicar

hidrología isotópica. Esta disciplina utiliza tanto isótopos estables como radiactivos para seguir los movimientos del agua en el ciclo hidrológico, ya que en cada etapa del ciclo se registra un pequeño cambio consistente en una diferencia en la concentración de isótopos de oxígeno e hidrógeno en el agua; esa diferencia es tan singular como una huella dactilar. Las ciencias nucleares pueden distinguir entre isótopos valiéndose de la espectrometría de masas para “pesarlos” (IAEA 2002?). La relación entre las fracciones de isótopos de oxígeno y deuterio ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y $2\text{H}/1\text{H}$, respectivamente) se expresan como la desviación en tanto por mil (‰) respecto a un patrón (Vienna-Standard Mean Ocean Water) que representa el valor medio de dicha relación en el agua (UDEP sf). Los isótopos radiactivos, tritio ^3H y ^{14}C pueden ser utilizados para determinar la edad en que se infiltró agua subterránea.

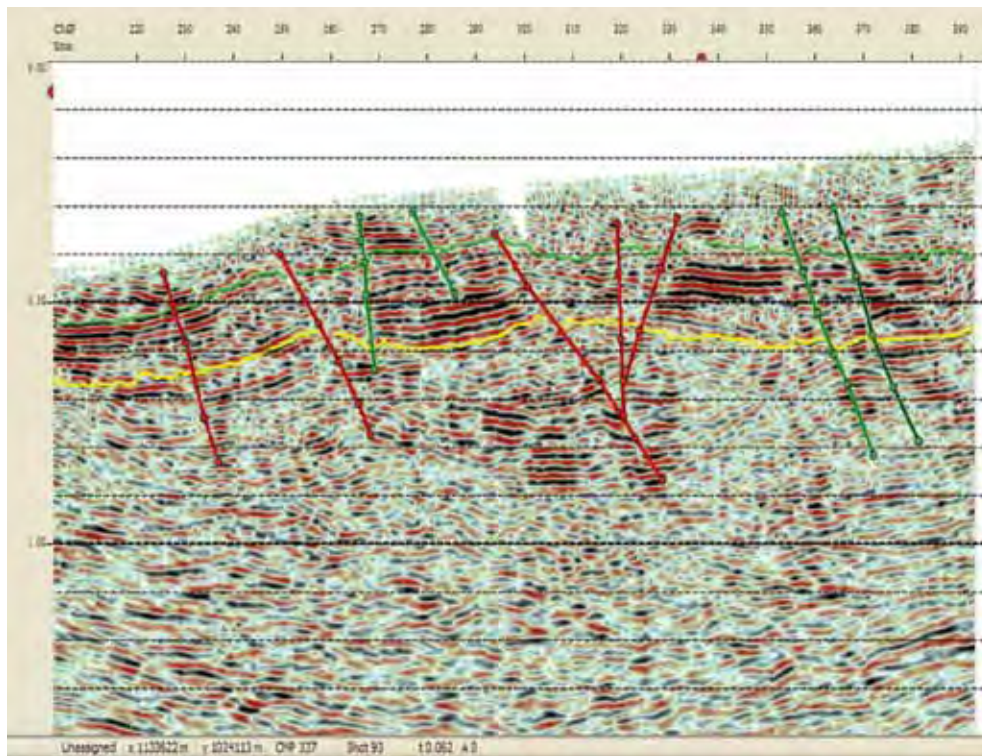


Figura 3. Interpretación de la sección sísmica del acuífero de Pereira, Colombia

Fuente: Carder - Universidad Nacional 2007.

Esta fase se ejecutó entre el 2001 y 2004, en una primera campaña se tomaron 52 muestras para 18O y 2H: 18 en la formación Pereira, 2 en Zarzal, 5 en depósitos aluviales, 3 en manantiales, 11 en estaciones de aguas lluvias (entre 930 y 4000 msnm) y 11 de aguas superficiales. Adicionalmente, se tomaron diez puntos para 14C distribuidos en los tres acuíferos. En la segunda campaña se tomaron 11 muestras en la formación Pereira, 5 de aguas superficiales y 6 de estaciones pluviométricas (930 y 3950 msnm). La tercera campaña incluyó sólo muestras de precipitación en las seis estaciones definidas anteriormente (enero a diciembre 2004). Los resultados fueron analizados bajo la orientación de los expertos del Organismo Internacional de Energía Atómica (Carder 2007).

Resultados

Modelo geológico geofísico

A partir de los datos gravimétricos y magnéticos procesados fue posible establecer que el techo del basamento cretácico se localiza a mayor profundidad al occidente de la zona, con máximas de 991 m. Hacia el oriente se da una mayor influencia de las fallas que levantan el basamento y se presenta un adelgazamiento de los sedimentos terciarios. Los tres perfiles ubicados al sur de la zona de estudio muestran un alto de basamento cretácico asociado al cuerpo que aflora en este sector.

El modelo 3D construido con base en el procesamiento de los datos gravimétricos y magnéticos muestra que el Sinclinal de Miravalles (formación Cartago, Toc) descansa discordantemente sobre la formación Barroso (Kvb), la cual está

siendo levantada por las fallas de la región (Fig. 4). El contacto entre las dos unidades terciarias formación Cartago y Acuífero de Pereira es depositacional. De acuerdo con los resultados de inversión de las tomografías, se observaron dos capas con resistividades características (entre 60 y 300 ohm-m para la primera y entre 3 y 60 ohm-m para la segunda) asociadas al miembro superior de la formación Pereira.

Al correlacionarse la línea sísmica con la geología del área se encontró que la formación Pereira en el sector presenta espesores de hasta 300 m y está infrayacida por un basamento con una velocidad promedio de 2600 m/s, correspondientes a la formación Cartago (Toc) que conforma el sinclinal de Miravalles. Esta unidad presenta un alto de basamento producido por la activi-

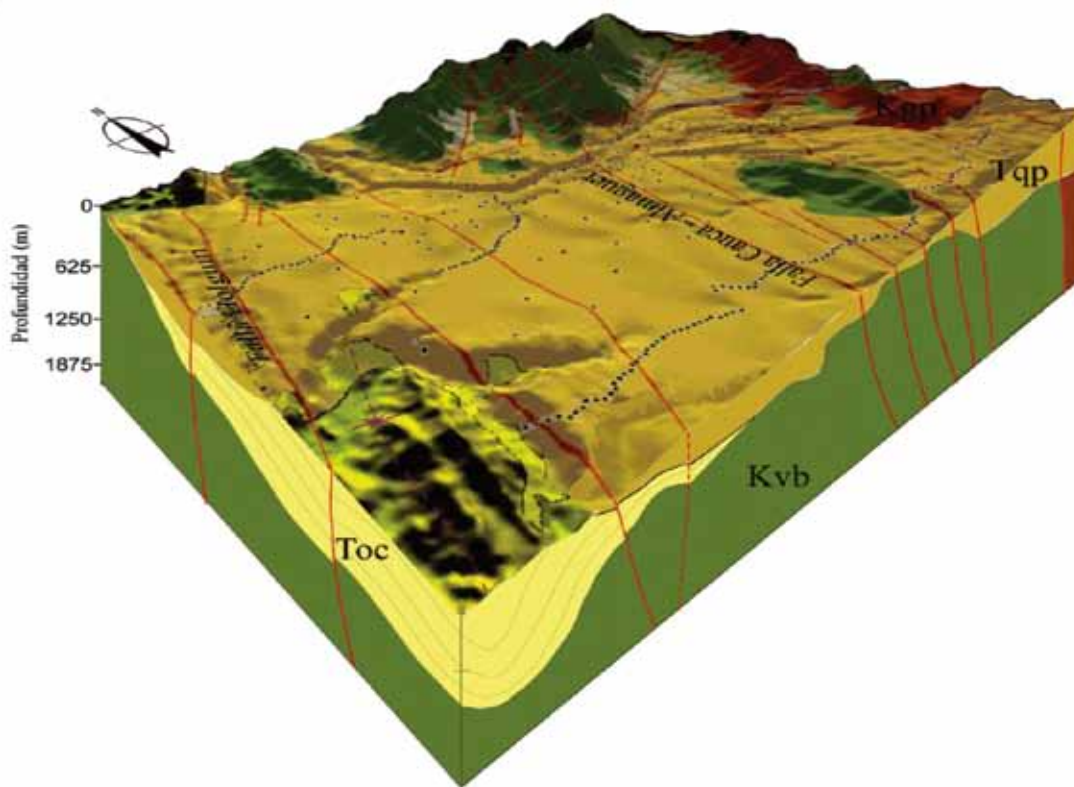


Figura 4. Modelo geológico generalizado del subsuelo en el acuífero de Pereira, Colombia

Fuente: Tomado de Serna 2008.

dad de las fallas que están afectando los sedimentos más recientes.

A partir de la integración de los métodos geofísicos, registros de pozos, información de aljibes y estudios anteriores, se pueden definir tres niveles de la formación Pereira correspondientes de techo a base, a un suelo arcilloso y limoso, con espesor de hasta 17 m y alta resistividad, una segunda capa compuesta principalmente por ceniza volcánica con espesor promedio de 30 metros, pero que puede alcanzar hasta 120 m según los modelos magneto-gravimétricos, y una tercera capa compuesta por flujos de escombros, flujos piroclásticos, conglomerados y arena en matriz arcillo-arenosa, de profundidad variable que depende de la geología subyacente. En general, se evidencia

una gran potencia de la formación Pereira (espesor máximo de 750 m en el sector del Agrado) (Carder-Universidad Nacional 2007).

Recarga

Las relaciones isotópicas halladas para los acuíferos Pereira, Zarzal, aluviones del Cuaternario y depósitos fluviolacustres de Dosquebradas están dentro de un mismo rango: entre -9,5 y -10,7‰ en ^{18}O y -67 y -78‰ en 2H (VS. VSMOW) y se ubican próximos a la línea meteórica mundial con un exceso en deuterio más débil que para las lluvias. En la composición isotópica de las dos capas acuíferas de la formación Pereira se presenta una ligera diferencia. En el caso de los aljibes (nivel superior), se nota un enriquecimiento en ^{18}O , con valores entre

-9,5 y -10‰, lo que según el gradiente isotópico de 0,1‰/100 m definido con dos años de mediciones en cinco estaciones pluviométricas sugiere que la zona de recarga se ubica desde 950 a 1500 msnm. Para el nivel inferior, ligeramente más empobrecido (-9,6 a -10,7‰), la recarga se da a alturas entre 1200 y 1500 msnm (Carder 2007). De este modo, con la aplicación de técnicas isotópicas se pudo establecer que la recarga ocurre en la zona de afloramiento del acuífero; anteriormente se suponía que se daba una recarga substancial desde las zonas montañosas en contacto con la formación Pereira, entre 2500 y 3500 msnm. Con estos importantes resultados, la Carder, mediante resolución 444 de 2008, definió lineamientos de protección especial para esta zona (Taupin 2002-2005).

Edad de infiltración del agua

De los siete puntos del acuífero de Pereira, cinco tienen entre 1 y 2,1 UT (unidades de tritio) y alta actividad de ^{14}C (entre 91,2 y 95,8%), que confirman un componente de recarga reciente. No se detectó tritio en los acuíferos locales, aluviones del Cuaternario, ni en Zarzal, por lo que se le atribuye una edad superior a 50 años. Este hecho se confirma por una baja actividad de ^{14}C (88,8% para los aluviones y entre 68 y 91,5% para la formación Zarzal) (Carder 2007).

La conexión hidráulica entre los acuíferos, que había sido supuesta

con base en la información geológica, está reforzada tanto por el aumento en la conductividad eléctrica en el sentido del flujo del agua subterránea (E-W, principalmente), como por los resultados de análisis de isótopos radioactivos, que indican un aumento de la edad del agua en el sentido del flujo subterráneo, y muy débil o ausente recarga por precipitación directa en los acuíferos Zarzal y aluviales del río Cauca (Taupin 2002-2004, Vélez et ál. 2005). Con base en la estimación del volumen útil del acuífero (teniendo en cuenta la posición de niveles piezométricos

y del basamento determinado con el modelo geológico-geofísico) y la porosidad efectiva según la litología predominante, se estimaron reservas estáticas superiores a 4000 millones de metros cúbicos (Otálvaro 2007). Estas reservas no corresponden totalmente a recursos explotables, ya que actualmente sólo se está aprovechando parte de la recarga, con un índice de escasez bajo (0,18, caudal captado/caudal aprovechable). Sin embargo, si fuera absolutamente necesario en el futuro, parte de estas reservas podrían llegar a aprovecharse de forma sostenible. 

Literatura citada

- Arias, GF. 2004. Geología y geomorfología. In CARDER. Plan de Manejo Integrado de Aguas Subterráneas. Pereira, Colombia, CARDER. Informe Técnico. 52 p.
- Briceño, LA. 2001. Curso internacional de aguas subterráneas: técnicas de evaluación y gestión, modelos computacionales, prospección geofísica. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias.
- CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda). 1998. Estudio de oferta y demanda hídrica en la Subregión 1 del departamento de Risaralda. Pereira, Colombia, Empresas Públicas de Pereira, Comité Departamental de Cafeteros, Universidad Nacional - Sede Medellín.
- CARDER. 2007. Plan de Manejo Integrado de Aguas Subterráneas en Pereira y Dosquebradas. Pereira, Colombia.
- CARDER – Universidad Nacional de Colombia. 2007. Modelamiento geofísico de Cerritos, Municipio de Pereira, Risaralda. Pereira, Colombia.
- Guzmán, J; Franco, G; Ochoa, M. 1998. Evaluación geotectónica, Plan de acción ambiental Pereira Centro Occidente. Pereira, Colombia, Proyecto para la Mitigación de Riesgo Sísmico.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 2002?. Gestión de los recursos hídricos mediante la hidrología isotópica. Disponible en http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/Spanish/water_sp.pdf
- Lalinde, CP; Toro, GE. 2003. Estudio de neotectónica en algunos de los segmentos de falla que afectan el abanico Pereira – Armenia, Colombia. Medellín, Colombia, Universidad EAFIT, Maestría en Ciencias de la Tierra.
- Otálvaro, DL. 2007. Apoyo al cálculo del índice de escasez de las aguas subterráneas en el acuífero de Pereira. Informe Contrato de Prestación de Servicios 056/07. Pereira, Colombia, CARDER.
- Otálvaro, DL. 2009. Estado actual de los recursos hídricos subterráneos de Pereira y Dosquebradas. Informe Interno. Pereira, Colombia, CARDER.
- Otálvaro, DL; Arias, GF; Vélez, ME; García, P. 2005. Modelo hidrogeológico conceptual preliminar del acuífero de Pereira. Plan de manejo integral del agua subterránea. Pereira, Colombia, CARDER.
- Serna, LM. 2008. Modelo geológico-geofísico del acuífero de Pereira en el sector de Cerritos, Departamento de Risaralda. Tesis de maestría en Geofísica. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional - Sede Bogotá, Departamento de Geociencias.
- Serna, LM; Restrepo, JG; Montes, L; Vargas, C. 2007. Modelamiento geofísico de un área de la zona de Cerritos, municipio de Pereira (Risaralda). Memorias digitales del Taller Resultados de la Gestión Sostenible del agua subterránea en Colombia (Proyecto Regional OIEA-RLA/8/031). Pereira, Colombia, CARDER-UTP.
- Struckmeier, WF; Margat, J. 1995. Hydrogeological maps: A guide and a standard legend. Hannover, Germany, IAH. Vol. 17. 177 p.
- Taupin, JD. 2002-2005. Informes de misiones a Colombia: manejo de los recursos subterráneos (Proyecto Regional OIEA-RLA/8/031). Viena, Austria, OIEA.
- Udep (Universidad de Piura). Sf. Hidroquímica e isótopos. Piura, Perú, Proyecto Regional OIEA-RLA 8/031. Disponible en http://www.udep.edu.pe/recursos_hidricos/hidroquimica%20e%20isotopos.pdf
- Vélez, ME; Arias, GF; García, JO; Taupin, JD; Vargas, MC. 2004. Primeros resultados hidrogeológicos e hidrogeoquímicos del acuífero de Pereira (Colombia). Memorias XXXIII IAH Congress y VII Congreso ALHSUD [Zacatecas, México, 11-15 octubre 2004].

Vigilancia y prospectiva tecnológica en los centros de investigación de excelencia en Colombia

El caso del Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos

Angélica María Pineda Botero¹

La prospectiva pone de manifiesto alternativas, riesgos y potencialidades de CIEBREG, y brinda elementos a los directivos para mejorar el juicio en la toma de decisiones. Los ejercicios de vigilancia tecnológica permitieron generar un proceso de organización y gestión de la información al interior de los Centros de Excelencia, además de facilitar la identificación de tendencias, redes de cooperación, proyectos de investigación desarrollados por instituciones científicas, en los temas propuestos.

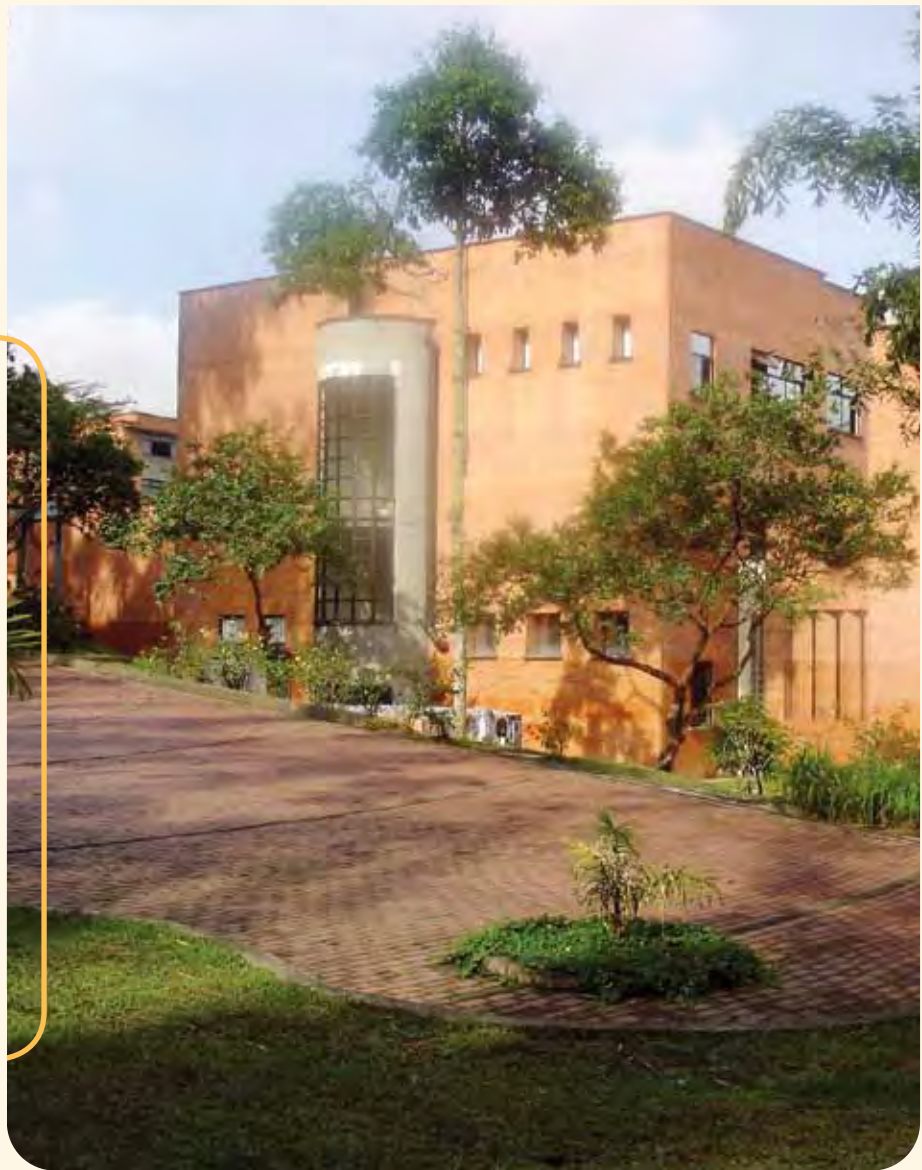


Foto: Mauricio Alejandro Echeverry D.

¹ Vigía Tecnológica. Unidad de Vigilancia y Prospectiva Tecnológica, Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG. angelicazul@utp.edu.co

Resumen

Desde el año 2005 se viene promoviendo en Colombia, el desarrollo de ejercicios de prospectiva y vigilancia tecnológica en sectores estratégicos para el país; entre ellos, los proyectos ejecutados por los diferentes centros de investigación de excelencia. Con estos ejercicios se busca coadyuvar a los centros a perfilar sus agendas temáticas de investigación y, al mismo tiempo, crear capacidades y masa crítica. En el CIEBREG (Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos) se han llevado a cabo dos ejercicios piloto de vigilancia tecnológica y un ejercicio de prospectiva basado en el método de escenarios. A partir de un análisis estructural, se identificaron las variables claves del CIEBREG que determinan su éxito a futuro; posteriormente se analizaron los posibles comportamientos de estas variables hasta el 2013 con el fin de elaborar dos escenarios alternativos a futuro y un escenario apuesta.

Palabras claves: Vigilancia; tecnología; innovación; toma de decisiones; instituciones de investigación; gestión del conocimiento; competitividad; prospectiva; CIEBREG, Colombia.

Summary

Forecast and technological surveillance in the Colombian excellence research centers: The case of CIEBREG.

Since 2005, the development of forecast and technological surveillance exercises for strategic sectors is being promoted in Colombia. The excellence research centers are one of the targets, where the exercises intend to shape the research agenda and, at the same time, create capacities and critic mass. In CIEBREG, two technological surveillance exercises and a forecast exercise have been carried out -the latter, based on scenario methods. By means of a structural analysis, the key variables with an influence on CIEBREG future performance were identified, and likely attainment of these variables up to 2013 was analyzed; basing on results, alternative scenarios were developed.

Keywords: Monitoring; technology; innovation; decision making; knowledge management; research institutions; prospective; CIEBREG, Colombia.

Introducción

En Colombia, los centros de investigación de excelencia (CE) son parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y conforman una red nacional de grupos de investigación articulada alrededor de programas comunes de trabajo en diferentes áreas científicas y tecnológicas, estratégicas para el país (CNCYT 2004). Los CE son organizaciones con un alto nivel de complejidad que requieren enfoques novedosos para la gestión estraté-

gica. En este contexto, el Programa Nacional de Prospectiva Tecnológica e Industrial (PNP) viene promoviendo, desde el año 2005, la implementación de un sistema de vigilancia y prospectiva tecnológica en cuatro de los siete centros de excelencia que existen actualmente en el país². Dicho sistema tiene la misión de “orientar las capacidades nacionales en prospectiva y vigilancia tecnológica para el desarrollo de áreas estratégicas de la ciencia, la tecnología y la innovación aplicadas a la eco-

nomía del conocimiento” (CNCYT 2006), de manera que se genere información relevante y condiciones suficientes para el direccionamiento estratégico y la focalización del ámbito de acción científico y tecnológico de los CE.

Para la implementación de este proceso, se conformaron equipos de apoyo – ‘grupos ancla’- en cada CE, con el propósito de liderar los ejercicios específicos; entre ellos, la revisión y evaluación periódica de los resultados obtenidos durante el

² En una fase inicial, el PNP promovió los ejercicios de vigilancia y prospectiva tecnológica en los cuatro primeros centros de excelencia conformados en el país: Centro Colombiano de Investigación en Tuberculosis (CCITB), Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales (CENIVAM), Centro de Excelencia en Nuevos Materiales (CENM) y Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIEBREG).

proceso. En el CIEBREG (Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos), el grupo ancla lo conformaron: la dirección general, la dirección científica, dos investigadores principales, la profesional en seguimiento y evaluación y el vigía, entendido como el actor dinamizador del proceso al interior del CE. A nivel nacional, los vigías de los CE forman parte de la red de apoyo del PNP, al igual que los consultores nacionales e internacionales que asesoraron y brindaron acompañamiento a los Centros, a través de interacciones permanentes y revisiones conjuntas de los documentos de avance de los ejercicios.

Las áreas de acción de los CE son la vigilancia tecnológica, la prospectiva y la gestión y estrategia.

■ **Vigilancia tecnológica (VT).** Este es un proceso sistemático para captar, analizar y difundir información de diversa índole –económica, tecnológica, política, social, cultural, legislativa–, mediante métodos legales, con el ánimo de identificar y anticipar oportunidades o riesgos para mejorar la formulación y ejecución de la estrategia de las organizaciones (Sánchez-Torres 2006). La norma UNE³ la define como: “*una forma organizada, selectiva y permanente de captar información del exterior sobre tecnología, analizarla y convertirla en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios*”. El análisis de la información que nos rodea es fundamental en el proceso de innovación tecnológica y, en este sentido, la VT se constituye en un proceso esencial dentro de las organizaciones innovadoras para gestionar proyectos de Investigación + Desarrollo +

Innovación. El propósito de llevar a cabo este tipo de ejercicios en los CE es que, a partir de su desarrollo, los investigadores y directivos involucrados se apropien de la metodología utilizada y la repliquen en otras áreas de interés del Centro. La vigilancia y prospectiva tecnológica contribuyen a optimizar la planeación estratégica, detectar oportunidades y amenazas, tomar decisiones más acertadas, identificar oportunidades de cooperación y buscar socios adecuados.

■ **Prospectiva.** Entre las diferentes definiciones que las escuelas de prospectiva han dado a esta disciplina, cabe resaltar la de Michel Godet (1993), uno de los más importantes representantes de la Escuela Francesa, quien la define “*como una reflexión para iluminar la acción presente con la luz de los futuros posibles*”. La prospectiva ha sido ampliamente utilizada por organizaciones a nivel mundial (instituciones educativas, multinacionales, empresas, administración pública, etc.), con el objeto de explorar tendencias y factores de cambio claves (económicos, políticos, sociales) que inciden en su desempeño. También es una herramienta clave para gobiernos y organizaciones en lo que respecta a la formulación de políticas públicas en ciencia y tecnología⁴. Muchos estados dedican esfuerzos y recursos a la prospectiva, como una herramienta privilegiada para la definición de sus políticas de innovación tecnológica (Cortez 2001).

■ La experiencia internacional indica que mediante el incremento de las capacidades de prospectiva, un país puede consolidar sectores estratégicos a largo plazo, si se

acompañan con políticas públicas coherentes, orientadas por visiones estratégicas, para fomentar el desarrollo tecnológico; esto le permite al país afrontar la transformación de la estructura productiva y el cambio continuo del contexto macroeconómico y político-institucional mundial (Medina y Rincón 2006). En este contexto, la prospectiva aporta herramientas importantes, para que los CE tomen decisiones más acertadas, a partir de reflexiones sobre su rol en el desarrollo científico y tecnológico y realicen las modificaciones necesarias para adaptarse al entorno, a partir de cambios en sus estructuras funcionales y organizacionales.

■ **Gestión y estrategia.** La estrategia de la organización debe ser sistémica e integrar la apertura prospectiva. Esta puede ser representada como el encuentro de tres campos determinados por elementos particulares: **el exterior** (mercado, competencia, oportunidades), **los recursos internos** (tecnologías, medios financieros, competencias disponibles, capacidades) y **las ambiciones** (cultura, valores, historia, autoimagen) (Génelot 1998). Si la estrategia permite que la organización establezca el futuro deseado, su materialización implica el desarrollo de actividades concretas para aplicar los conceptos y los instrumentos en la acción de la organización (Hernández 2007). Es así, como la vigilancia tecnológica y la prospectiva permiten utilizar la información del entorno para la toma de decisiones, incorporándola a la estrategia de la organización de tal manera que contribuya con elementos importantes para la gestión de los CE.

³ Norma UNE 166000:2006. Gestión de la I+D+i -Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i.

⁴ “Se viene presentando un cambio acelerado en la incorporación del conocimiento en las actividades económico y sociales del mundo, facilitadas por las tecnologías de la información y las telecomunicaciones; cambios que, sin lugar a dudas, han estado soportados sobre visiones de largo plazo, siendo la prospectiva instrumento central de los procesos de análisis de tendencias y formulación de políticas de ciencia y tecnología de largo plazo a nivel mundial.” (CNCYT 2004).

Desarrollo del caso de estudio

En el CIEBREG se llevaron a cabo dos ejercicios piloto de vigilancia tecnológica; el primero focalizado en métodos de control de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) (Rodríguez et ál. 2008) y el segundo en métodos para la cuantificación de carbono en biomasa y suelo. De otro lado, se realizó un ejercicio de prospectiva basado en el método de escenarios para identificar, a partir de un análisis estructural, las variables claves del CIEBREG como sistema -es decir, aquellas que determinarán su éxito a futuro. Posteriormente se analizaron los posibles comportamientos de estas variables en un horizonte de tiempo dado con el fin de elaborar dos escenarios alternativos de futuro y un escenario apuesta.

Ejercicios piloto de VT

Para el desarrollo de los ejercicios piloto de VT, se utilizó el protocolo establecido por Colciencias (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación; anteriormente llamado Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas”). Ese protocolo consta de cuatro grandes fases: 1) definición de la temática, 2) recolección, análisis y validación de la información, 3) elaboración de conclusiones con base en los resultados y análisis realizados, 4) difusión (Fig. 1). Esta metodología se desarrolló por medio de una ficha de definición de necesidades de vigilancia tecnológica, en la que se especifica el tema principal de vigilancia, los subtemas, los objetivos específicos y

los términos claves para las búsquedas. Asimismo, esta ficha describe las fuentes de consulta y los autores relevantes a tener en cuenta para realizar las búsquedas.

Como elemento central de la investigación, se trató de precisar el estado del arte a partir de la búsqueda de información científica en bases de datos como *Scopus* y *Web of Knowledge* (*Web of Science*). Otra fuente importante de información fueron las patentes; para ello se consultaron bases de datos internacionales sobre patentes (USPTO, WIPO), con el fin de conocer las tecnologías, los inventores, las entidades titulares y la dinámica del tema en cuanto a invenciones. La búsqueda de información se complementó con la consulta a otras fuentes especializadas del propio sector, con el fin de

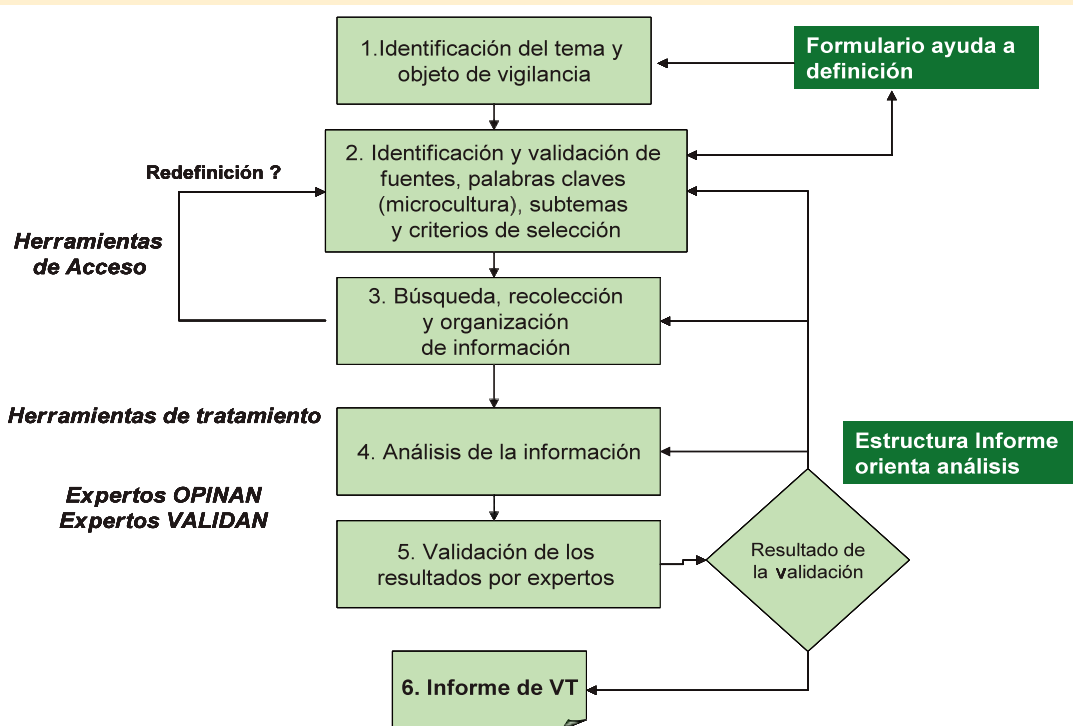


Figura 1. Protocolo para la elaboración de informes de vigilancia tecnológica

Fuente: Colciencias - PNP - Triz XXI (2007)

⁵ La base de datos de Musalit contiene 10.489 referencias bibliográficas trilingües (con el extracto) sobre plátanos y llantenos. A finales del 2005, Musalit registraba 1144 artículos relacionados con sigatoka negra (INIBAP 2005). Ver <http://musalit.inibap.org/>.

validar resultados obtenidos y completarlos si fuera necesario. En el caso del ejercicio sobre sigatoka negra se consultaron bases de datos como Musalit⁵ y el Sistema de Información en Investigación del Banano (BRIS, por sus siglas en inglés).

Este trabajo se complementó con la búsqueda de información no estructurada accesible en Internet, a través de motores de búsqueda (buscadores y metabuscadores), con un particular interés en identificar trabajos realizados sobre el tema y con objetivos similares de investigación, en otros países. La información relevante obtenida de las bases de datos estructuradas se incorporó y procesó en *software* especializados, como *Vantage Point* y *Goldfire*, con el objetivo de generar distintas representaciones gráficas de tendencias, evolución, jerarquización, correlaciones entre palabras claves y entidades, etc. A partir de estos datos se identificaron macro tendencias, se analizaron las implicaciones para el CE, y se extrajeron conclusiones que sirvieran como elemento de juicio para la toma de decisiones estratégicas.

Prospectiva

El proyecto ‘Valoración de bienes y servicios de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales colombianos en el Complejo Ecorregional Andes del Norte (CEAN)’ es liderado por el CIEBREG. Allí se llevó a cabo un ejercicio prospectivo basado en métodos cualitativos, donde se desarrollaron dos escenarios alternativos a futuro y un escenario apuesta, a partir de un análisis del contexto, un análisis estructural y consulta a expertos. Este ejercicio se constituyó en una fase exploratoria para identificar las variables claves del sistema CIEBREG que determinan en gran medida su éxito futuro; posteriormente se analizaron los posibles comportamientos

de estas variables en un horizonte de tiempo definido (2013). Las fases metodológicas de ese ejercicio prospectivo se ilustran en la Fig. 2.

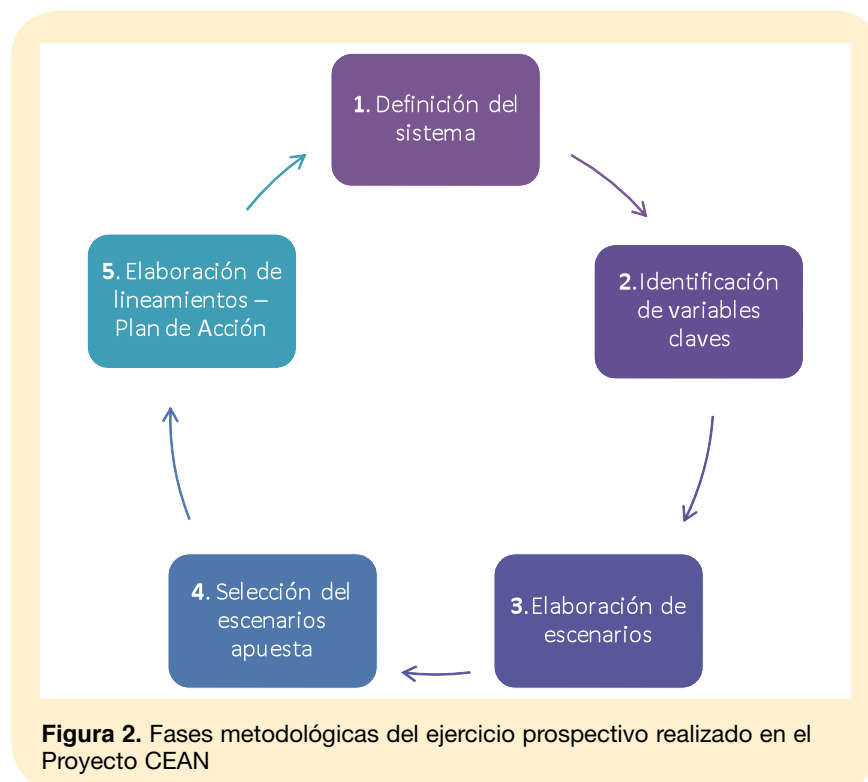
El ejercicio prospectivo fue un proceso participativo que convocó a actores institucionales, gubernamentales y expertos en el tema de valoración de bienes y servicios de la biodiversidad. En un panel de expertos se exploraron dos escenarios alternos y de alto contraste, a partir de los resultados obtenidos en talleres realizados con investigadores del CIEBREG. La elaboración de los escenarios inició con la aplicación de un cuestionario diseñado a partir de los resultados obtenidos en el análisis estructural sustentado en las variables claves identificadas. Las preguntas se hicieron circular entre los diferentes grupos conformados, a fin de detectar convergencias de opiniones y eventuales consensos sobre los posibles comportamientos futuros de cada una de las variables

claves. Una vez definidos los escenarios alternativos e identificado el escenario apuesta, se plantearon las actividades que deberían llevarse a cabo para alcanzarlo.

Resultados

Vigilancia tecnológica

Los ejercicios piloto de VT permitieron obtener información relevante sobre el interés científico que los dos temas analizados generan entre los investigadores del CIEBREG. Ese interés se midió por el número de publicaciones y patentes que se han desarrollado desde 1971 a la fecha. Además, se identificaron las áreas de conocimiento, revistas científicas más importantes indexadas en la base de datos de *ISIS Web of Science [v.3.0]* y los principales países donde se originan los artículos y las patentes. También se observó la dinámica en el tiempo de diferentes métodos utilizados para cada uno de los temas propuestos.



⁵ La base de datos de Musalit contiene 10.489 referencias bibliográficas trilingües (con el extracto) sobre plátanos y llantenos. A finales del 2005, Musalit registraba 1144 artículos relacionados con sigatoka negra (INIBAP 2005). Ver <http://musalit.inibap.org/>.

Los ejercicios de VT permitieron consolidar la Unidad de Vigilancia y Prospectiva Tecnológica en el CE y generar capacidades para lo que podría llegar a ser el sistema de gestión de la información. Los integrantes del grupo Ancla, los investigadores y directivos cumplieron funciones específicas de observadores, analistas y decisores, respectivamente; el vigía actuó como coordinador de las diferentes funciones. Otras actividades llevadas a cabo por la unidad fueron:

- Búsqueda y consecución de artículos científicos y patentes para los diferentes grupos de investigación.
- Elaboración de boletines de Vigilancia Tecnológica.
- Asesoría a estudiantes sobre la aplicación de análisis cuantitativos en sus temas de investigación.

Es importante resaltar que el proceso de VT debe ser continuo, coordinado e integrado al sistema de gestión de la información de la organización, de tal manera que se convierta en una herramienta útil para analizar constantemente las señales del entorno. Sin embargo, esta continuidad puede verse limitada por la falta de recursos y el acceso limitado a bases de datos

de alta calidad y a herramientas de software que permitan un adecuado análisis bibliométrico y cuantitativo de grandes volúmenes de datos.

Prospectiva

El ejercicio prospectivo contribuyó al fortalecimiento del proceso de planeación del CIEBREG y brindó algunos lineamientos para la posible formulación de una agenda temática del proyecto de *valoración de bienes y servicios de la biodiversidad*. El ejercicio permitió priorizar nueve de los 16 factores identificados como críticos para el éxito del CIEBREG; así, se identificó dónde deben hacerse los mayores esfuerzos en el proceso de planeación del Centro. Estos factores sirvieron como criterio para formular los tres lineamientos estratégicos que se convertirían en acciones importantes para alcanzar el escenario apuesta: 1) aplicar una estrategia de comunicación, 2) fortalecer la prospectiva estratégica y 3) generar una estrategia para la apropiación social del conocimiento. Finalmente, el ejercicio prospectivo permitió promover un proceso de aprendizaje organizacional en el cual los actores relevantes aporta-

ron a la construcción de visiones de futuro, a partir de su experiencia y conocimiento. En ese proceso se detectaron cambios en el entorno y se desarrollaron respuestas estratégicas para pasar de una situación actual a una situación deseada.

Conclusiones

La prospectiva pone de manifiesto -a partir de un ejercicio coherente y participativo - alternativas, riesgos y potencialidades de la organización, y brinda elementos a los directivos para mejorar el juicio en la toma de decisiones. Los ejercicios de VT permitieron generar un proceso de organización y gestión de la información al interior de los CE, además de facilitar la identificación de tendencias, redes de cooperación, proyectos de investigación desarrollados por instituciones científicas, etc., en los temas propuestos. Los ejercicios de VT permitieron identificar fortalezas y debilidades respecto a la gestión de la información en el CE. Contar con acceso a bases de datos de literatura técnico-científica de alta calidad y con herramientas de análisis cuantitativo permite obtener ejercicios de VT de mayor pertinencia y calidad. 

Literatura citada

- CNCYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). 2004. Documento conceptual para la creación y apoyo a centros de investigación de excelencia. Bogotá, Colombia, Colciencias.
- CNCYT. 2006. Programa Nacional de Prospectiva Tecnológica e Industrial 2003 – 2006; Resumen ejecutivo. Bogotá, Colombia, Colciencias.
- COLCIENCIAS - PNP – TRIZ XXI. 2007. Sánchez J.M, Palop F y Vicente J.M. Protocolo para la elaboración de ejercicios de vigilancia tecnológica programas de Colciencias.
- Cortezo, JR. 2001. Introducción a la prospectiva: metodologías: fases y explotación de resultados. Revista Economía Industrial N° 342:13-20.
- Génelot, D. 1998. Manager dans la complexité. Paris, France, Insep Editions.
- Godet, M. 1993. De la anticipación a la acción: Manual de prospectiva y estrategia. Barcelona, España. 360 p.
- Hernández, AG. 2007. Estrategia y cooperación: una visión de la gestión desde el paradigma de la colaboración interfirmas. Revista Facultad de Ciencias Económicas, Investigación y Reflexión. 15(2):115-131.
- INIBAP. 2005. Informe Anual INIBAP. Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, Montpellier. Francia. 10 p.
- Medina, JE; Rincón, G. (Eds.). 2006. La prospectiva tecnológica e industrial: contexto, fundamentos y aplicaciones. Bogotá, Colombia, Colciencias, CAF.
- Rodríguez, JM; Sánchez-Torres, JM; Niño, J; Mosquera, OM; Pineda, AM; Aguilera, AA; Landínez, LM; Rincón, G; Medina, JE. 2008. Informe de Vigilancia Tecnológica aplicada al control de la sigatoka negra. Bogotá, Colombia, CIEBREG. 88 p.
- Sánchez-Torres, JM. 2006. Herramientas para la toma de decisiones. Ciencia y Tecnología (Colombia) 24(1-2):16-21.

Construcción de un sistema integral de información sobre la sostenibilidad ambiental de las cuencas¹

Carlos H. Fonseca Z.²

El ISAAC es un índice complejo que emplea múltiples indicadores e índices y que permite construirse parcialmente, cuando la disponibilidad de información es limitada. Este índice agrupa tres grandes elementos: el agua superficial, el agua subterránea y los servicios ambientales y funciones ecológicas del agua. Como sistema de información, el índice parece funcionar bastante bien aunque se requiere un trabajo permanente de mejoramiento, tanto en la calidad de las fuentes como en los ajustes a cada uno de los indicadores. El índice se puede enriquecer con métodos de construcción participativa, por medio de talleres de consulta y de calificación de algunos indicadores.



Foto: Carmen Lucía Miranda Ortiz.

¹ Este documento resume de manera simplificada un informe de consultoría ejecutada por el autor para la Comisión Nacional del Agua de México. El objetivo de la misma fue el diseño de un sistema dinámico de seguimiento de la sostenibilidad en las cuencas del país.

² Sistemas Ambientales y Urbanos. Estudiante de doctorado en Ciencias de la Gestión y Geografía. Actualmente es Director de Fomento a la Investigación en Colciencias, Colombia. carlosfonsecaz@gmail.com

Resumen

El deterioro de las cuencas y el cambio y variabilidad climáticos exigen nuevos instrumentos y estrategias de gestión, dentro de los cuales la información disponible y entendible para todos los actores es vital. Se propone la construcción de un índice integral (ISAAC: índice de sostenibilidad ambiental del agua en la cuenca), que recoge todos los aspectos de calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas, en sus dimensiones de Estado-Presión-Respuesta y de los servicios ambientales y calidad de los ecosistemas asociados a la cuenca, así como la tendencia frente al cambio climático. Dicho índice permite revelar la evolución de la cuenca mediante un indicador numérico que se convierta en algo familiar, como la tasa de inflación o el índice de calidad del aire en algunas ciudades. El sistema propuesto se exhibe como una matriz o “tablero de seguimiento” que permite leerse horizontal o verticalmente, para establecer índices parciales tanto para las aguas superficiales o subterráneas, como de calidad, cantidad, presión, estado, respuesta. Su calibración puede hacerse periódicamente en función de los cambios de percepción y prioridades de la sociedad, mediante ejercicios participativos con todos los actores de la cuenca. Una prueba inicial del ISAAC se hizo en la cuenca Lerma-Chapala, México, donde la cuenca alta, media y baja mostraron valores de 0,49, 0,38 y 0,27 respectivamente (1,0 sería muy buen estado). Se sugiere usar el sistema e índice cada dos años, incluyendo las consultas participativas, para consolidar su operatividad.

Palabras claves: Sistemas de información; sostenibilidad; medio ambiente; cuencas hidrográficas; servicios ambientales; ecosistema; Cuenca Lerma-Chapala; México.

Summary

An integral information system for measuring watershed environmental sustainability.

Watershed degradation and climate change and variability require new management instruments and strategies; among them, easily available and understandable information is vital. It is proposed the construction of an integral index (ISAAC: Index of Environmental Sustainability of Water in the Watershed) that comprises every aspect of quality and quantity of surface and underground waters in their dimensions of State-Pressure-Response, environmental services and quality of the ecosystems associated to the watershed, as well as climatic change tendencies. Such an index shows the evolution of a watershed by means of a numerical indicator; it is intended that this indicator become as familiar as the inflation rate or the index of air quality used in some big cities. The proposed system displays a matrix or “monitoring board” that can be read both horizontally and vertically. It shows partial indexes for surface or underground waters, as well as quality, quantity, pressure, state, and response indexes. As society perception and priorities change, ISAAC may be periodically calibrated through participatory exercises with all the actors in the watershed. An initial validation exercise was conducted in the Lerma-Capala watershed, Mexico, where the upper, middle and lower watershed got values of 0,49, 0,38 and 0,27 (1 is the ideal situation). The model and system should be run every two years, including public consultation and adjustments, to consolidate its operation.

Keywords: Information Systems; sustainability; environment; watersheds; environmental services; ecosystem; Lerma-Chapala watershed, Mexico.

Introducción

El problema del deterioro de las cuencas es generalizado en América Latina: tanto la cantidad como la calidad del agua, así como las funciones ecológicas y servicios ambientales asociados a la existencia y mantenimiento del recurso hídrico están disminuyendo, y en algunos casos de manera crítica. Las raíces del problema son múltiples; entre ellas, la deforestación, el uso indiscriminado de agroquímicos y malas tecnologías de manejo de suelos, el vertimiento de múltiples sustancias tóxicas o dañinas para los ecosistemas, la desviación de caudales. Adicionalmente, el calentamiento global está alterando significativamente los patrones de lluvias en cuanto a cantidad y periodicidad.

Ante esa situación, se requiere un sistema de información que reúna todos los aspectos de manera coherente y permita que los actores los entiendan y usen en la toma de decisiones. En la medida en que dicho sistema o “tablero de control” exista y ofrezca un formato sintético (mediante la construcción de un índice de sostenibilidad que reúna todos los aspectos del problema), se logrará que la sociedad avance más rápidamente hacia la solución de los problemas que el deterioro de las cuencas provoca.

Se propone, entonces, la definición de un **“índice de sostenibilidad ambiental del agua en las cuencas”** (ISAAC). Este índice agrupa tres grandes elementos: el agua superficial, el agua subterránea y los servicios ambientales y funciones ecológicas del agua. Se usa un ‘tablero de control’ que refleja el sistema estado-presión-respuesta de indicadores para cubrir todos los aspectos siguientes: estado (cantidad y calidad), presión social (demanda

domiciliaria, industrial y agropecuaria y de otros usos posibles; costos crecientes de bombeo y tratamiento, etc.) y respuesta social requerida (disminución del consumo, tratamiento de aguas residuales, mayor productividad, acceso equitativo al recurso, control de infractores). Como se ve, es un índice de gran capacidad de síntesis que revela de una manera integral el estado, tendencias y acciones reales sobre la cuenca en función de su sostenibilidad.

El ISAAC se ensayó en la cuenca Lerma-Chapala en México, donde se obtuvo un buen resultado inicial. Para su diseño se recorrió toda la cuenca en compañía de funcionarios de Conagua, se sostuvieron reuniones y talleres tanto con funcionarios regionales como con usuarios del recurso, dentro de los cuales se encontraban empresas, comités de usuarios agropecuarios y entidades de servicios públicos. El propósito de estas reuniones y talleres fue recoger información y sobre todo conocimientos y experiencias de los actores de la cuenca, y presentar y construir colectivamente el modelo de índices.

Diagnóstico de los sistemas de información de cuencas

Existen varios parámetros e índices de información ambiental sobre cuencas tanto en México como en muchos países. En el caso de México y de la cuenca Lerma-Chapala, objeto del estudio, un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) acerca de los sistemas de información ambiental permitió revelar los aspectos que se detallan en el Cuadro 1. Es evidente que se requieren esfuerzos pedagógicos y de divulgación para asegurar que la herramienta propuesta (ISAAC), sea apropiada por todos los actores de la cuenca; pero una

vez que los conceptos se acogen, así no sea con mucho detalle, los actores los respaldan y enriquecen.

Los elementos de ISAAC

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, se construyó un índice sintético que recoja las inquietudes y aspectos relacionados con el uso sostenible del agua en la cuenca Lerma-Chapala:

$ISAAC = ISAsup + ISAsub + ISAfea$
En donde:

ISAAC = índice de sostenibilidad ambiental del agua en la cuenca

ISAsup = índice de sostenibilidad ambiental de aguas superficiales

ISAsub = índice de sostenibilidad ambiental de aguas subterráneas

ISAfea = índice de servicios ambientales y funciones ecológicas del agua

Cada uno de los tres índices está compuesto de indicadores temáticos o sectoriales y se sustenta en diferentes datos y variables que describen la evolución de la sostenibilidad en la cuenca. La construcción de las curvas de normalización³ es un elemento fundamental en la definición de los índices e indicadores de sostenibilidad ambiental. Por “normalización” se entiende el ejercicio de convertir todos los parámetros a una escala de importancia entre 0 y 1, que refleje claramente el valor otorgado a cada uno y que permita que el parámetro pueda ser agregado con otros temas, de manera que tal adición resulte en un índice mas comprehensivo.

Un importante componente adicional de los sistemas de información por indicadores es el de los “factores de ponderación” de cada uno de los indicadores frente al resto. En el caso del conjunto de indicadores y temas de evaluación incluidos en el sistema de indicadores, se propone asignar pesos relativos a cada uno de los indicadores y sus componentes⁴.

³ Si bien en el ejercicio de construcción del ISAAC se tuvieron en cuenta este tipo de curvas y los valores están implícitos (como se explica más adelante en el desarrollo del ejercicio), es necesario que se ejecuten ejercicios de calibración de cada uno de los índices y de sus curvas de valoración o “normalización” a medida que se adopte el indicador.

⁴ De manera similar, el método Batelle-Columbus asigna pesos relativos a cada uno de los grupos temáticos de variables y, dentro de cada grupo, a cada una de las variables consideradas.

Cuadro 1. Análisis FODA practicado en la cuenca Lerma-Chapala, México

Componente-Análisis	Debilidad	Fortaleza	Oportunidad	Amenaza
Captura de información	Falta información y coordinación sobre la localización, frecuencia y criterios de toma datos (cantidad, calidad y función ecológica). No se usan sistemáticamente fuentes como las imágenes de satélite y fotos aéreas. Las redes de toma de datos son limitadas y precarias. Presupuesto insuficiente para programas de muestreo de campo.	Algunas redes miden parámetros que revelan gran variedad de características. Algunas entidades regionales son profesionales y muy competentes.	Si se compartiera información se podría disminuir costos y, sobre todo, lograr una visión más integral de la cuenca. Las universidades se podrían vincular formalmente a los programas de muestreo y análisis.	Cantidad insuficiente de información puede esconder tendencias críticas y permitir que algunos actores se comporten equivocadamente. A medida que se complica la condición de la cuenca se generan más tensiones. La información obtenida puede ser intrascendente frente a faltantes de información (p.e., metales pesados o sustancias tóxicas).
Procesamiento de la Información	Existen atrasos importantes en cantidad procesada; se usan métodos parciales o desactualizados; se obvian pasos de chequeo; falta estandarización metodológica.	Se han ido mejorando los sistemas de computación que permiten revisar y almacenar información en gran cantidad.	Las universidades se podrían vincular formalmente a los programas de muestreo y análisis.	
Interpretación de la Información	Especialistas específicos trabajan de manera aislada en el análisis de la información.	Se han ido mejorando los sistemas de computación que permiten interpretar e informar con mayor cobertura.	Las universidades se podrían vincular formalmente a los programas de muestreo y análisis.	
Presentación de la Información	Los especialistas presentan la información recuperada de manera descontextualizada.	Se han ido mejorando los sistemas de computación que permiten divulgar la información de manera gratuita y en gran escala.		
Retroalimentación a sistemas de información	La distancia entre los técnicos de diagnóstico y los gestores de decisión pública y privada es muy grande.	A medida que las entidades adquieren más experiencia e infraestructura se logra avanzar en la integración.		

Una ‘condición dinámica’ reconoce que los pesos pueden cambiar con el tiempo, a medida que el equipo calificador encuentre y concierte la necesidad de hacerlo debido a cambios sustantivos.

Índice de sostenibilidad ambiental de aguas superficiales⁵
En este índice se analiza la calidad (IQAsup) y cantidad del agua superficial (IKAsup). **El IQAsup** revela información sobre el estado del agua en función de los usos esperados. Los indicadores propuestos para el sitio de estudio son los siguientes:

- **Indicador de estado:** Demanda Química de Oxígeno (DQO) esperado (40 mg/l satisfactorio) / DQO promedio en el sector de la cuenca bajo análisis.
- **Indicador de presión:** (Población/km² nacional / Población /km² promedio de la zona) X % población urbana SIN morbi-mortalidad por calidad del agua en Ciudad de México / % población SIN morbi-mortalidad por calidad agua de la zona de la cuenca.
- **Indicador de respuesta:** % caudal usado que recibe tratamiento (aguas residuales urbanas y

efluentes industriales) / 0,75 caudal usado X (eficiencia REAL en el tratamiento / eficiencia teórica). Si se está haciendo gestión del agua, debería estar cercano o mayor a 3/3.

El IKAsup expresa la cantidad realmente disponible en la región que se esté analizando, a partir del balance hídrico convencional –sin incorporar los aportes de aguas subterráneas–; esto equivale a los aportes de la lluvia y los caudales superficiales aferentes en cada uno de los tramos del río y de la cuenca, menos la evaporación, evapotranspiración e infiltración.

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo (Ab)} &= \text{Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba (Ar)} + \text{Volumen medio anual de escurrimiento natural (Cp)} + \text{Volumen anual de retornos (R)} \\
 &+ \text{Volumen anual de importaciones (Im)} - \text{Volumen anual de exportaciones (Ex)} - \text{Volumen anual de extracción de agua superficial (Uc)}
 \end{aligned}$$

⁵ Tanto la calidad como la cantidad de las aguas superficiales es afectada por el aporte de las aguas subterráneas. Para evitar doble contabilización, se tomó la decisión de contemplar los aspectos solo una vez, ya sea en aguas superficiales o en aguas subterráneas.

El indicador de respuesta social e institucional (IRSI) representa todas las medidas de manejo sostenible del agua que se hayan generado como respuesta a las condiciones de cantidad del agua disponible en la cuenca bajo análisis. El IRSI incluye las estrategias y programas de ahorro y uso eficiente del agua, los aumentos de productividad del agua por hectárea o por tonelada de producción agrícola o industrial, o por valor económico agregado por metro cúbico de agua usado. Además, se considera la minimización de desperdicios de agroquímicos o de pesticidas, el pago por el agua y los servicios ambientales asociados. Se propone considerar el número de hogares bajo programas de ahorro y uso eficiente de agua (Incluyendo micro-medición) / No. total de hogares en el sector de la cuenca.

Índice de sostenibilidad ambiental de aguas subterráneas

En este índice se analiza la calidad (IQAsubt) y la cantidad de agua subterránea (IKAsubt). **El IQAsubt** revela información sobre el estado de la calidad del agua en función de los usos esperados: consumo humano, recreación, uso pecuario, uso agrícola, uso industrial (dentro de este, el uso depende de la finalidad que se busca). Para ello, se especifica el rango aceptable de valores, para cada uso, de varios parámetros como hierro, manganeso, etc. Los indicadores propuestos para el sitio de estudio son los siguientes:

■ **Indicador de estado:** de manera similar que para el índice de aguas superficiales, es necesario escoger dos parámetros representativos de la calidad de las aguas subterráneas y establecer los niveles por debajo de los cuales se considera que el agua es apta para consumo humano, para recreación y para desarrollo de la vida silvestre. De

acuerdo con la normativa mexicana, se seleccionaron el hierro y manganeso como parámetros de comparación.

■ **Indicador de presión** para analizar la evolución de la relación entre la sociedad y los ecosistemas: una aproximación bastante cercana sería la combinación de dos indicadores robustos; uno relacionado con la salud humana (morbi-mortalidad) y el otro con la productividad agropecuaria que podría verse afectada por la calidad del agua en la zona en estudio.

- Indicador = morbi-mortalidad por enfermedades relacionadas con la calidad del agua en la zona de la cuenca / morbi-mortalidad por enfermedades relacionadas con la calidad del agua a nivel nacional⁶.

El segundo indicador se refiere a la productividad agropecuaria de las zonas en donde las aguas subterráneas están contaminadas, frente a la productividad de áreas de la misma cuenca sin problemas de contaminación de las aguas subterráneas. Se usa la comparación local para garantizar que las condiciones climáticas son lo más similares posibles.

- Indicador = tons/m³ de producción en la zona de la cuenca bajo análisis // tons/m³ de producción en la cuenca.

■ **Indicador de respuesta:** (medidas tomadas por la sociedad y efectividad de las mismas). En el caso de la calidad del agua subterránea, se podrían asociar dos indicadores: ahorro y uso eficiente de agua subterránea, por un lado, y proporción de aguas subterráneas con problemas de calidad vs. cantidad total de aguas subterráneas usadas en la zona de la cuenca en análisis, por el otro.

- Indicador = (m³ aguas subterráneas / habitante de la zona // m³

aguas subterráneas / habitante promedio nacional) X m³/tons producción agropecuaria de la zona // m³/producción agropecuaria nacional.

Alternativamente, m³ aguas subterráneas con problemas de contaminación / m³ de aguas subterráneas en la zona de análisis // m³ aguas subterráneas con problemas de contaminación / m³ de aguas subterráneas a nivel nacional.

En la determinación del **IKAsubt** (índice de cantidad de agua subterránea), es importante la estimación del volumen de los acuíferos de la cuenca, así sea aproximada. La información sobre el caudal extraído anualmente permite establecer los años remanentes de vida del acuífero; adicionalmente, la profundidad del nivel estático y su descenso gradual son críticos para la extrapolación de los costos crecientes de energía para el aprovechamiento de estas aguas. Los indicadores propuestos para el sitio de estudio son los siguientes:

■ **Indicador de estado:** Cantidad del agua subterránea = Hm³ estimados/km² de la zona de la cuenca en análisis // Hm³ estimados/km² a nivel nacional o, alternativamente, de la cuenca.

■ **Indicador de presión:** la tasa de aumento de profundidad del acuífero (abatimiento) por año puede compararse con la tasa de aumento de profundidad del acuífero a nivel nacional o internacional.

- Indicador = metros / año promedio nacional de abatimiento de pozos // metros / año de abatimiento de pozos en la zona de la cuenca bajo análisis.

■ **Indicador de respuesta:** es conveniente contar con información sobre la eficiencia del uso, tanto a nivel doméstico como urbano, industrial y agropecuario, en fun-

⁶ Si bien este indicador está más dirigido a contaminación por aguas residuales domésticas, podría establecerse la causa de los problemas a partir del análisis de los diagnósticos locales.

ción de dos elementos de comparación: el consumo en otras regiones del país y del mundo y las metas de eficiencia fijadas para el uso del recurso subterráneo.

- Indicador = Proporción de agua subterránea en el abastecimiento total de la zona de la cuenca en análisis (%) / proporción de agua subterránea en el abastecimiento total nacional X (metros/año promedio nacional de abatimiento de pozos // metros / año de abatimiento de pozos de la zona de la cuenca bajo análisis).

Índice de servicios ambientales y funciones ecológicas del agua
El ISAfea se refiere a las relaciones más directas entre agua y biodiversidad, representada por la diversidad ictiológica, de moluscos, crustáceos e insectos y microorganismos que habitan en el medio hídrico, y las formaciones vegetales relacionadas con el agua (vegetación ribereña, flotante o sumergida) en sistemas lóticos y lénticos. Este índice también abarca la existencia y buen estado de los ecosistemas terrestres críticos en términos de biodiversidad, teniendo en cuenta la gran proporción de endemismos entre los países con mayor número de especies por kilómetro cuadrado.

El ISAfea está compuesto, en resumen, por los siguientes índices: índice de caudal ecológico (IKECO), índice de salud y ordenamiento territorial y ecológico (ISOTA), índice

de biodiversidad y endemismo ecológico (IBEE). El Cuadro 2 resume los indicadores de estado, presión y respuesta propuestos para cada uno.

El IKECO se refiere al respeto a la dinámica natural del río y de los cuerpos de agua. En la evaluación de este indicador, se toma la longitud total del río y se evalúan las zonas que presentan problemas estacionales de caudal que interfieren con la dinámica de reproducción de las especies ictiológicas, especialmente. (longitud total del río - longitud de corriente que queda sin agua suficiente) / longitud total del río

En la determinación del **IBEE** es necesario hacer primero, una indagación histórica detallada para establecer qué especies existían antes de la construcción de todas las obras hidráulicas, cuáles fueron poblando el río y los cuerpos de agua como resultado de la construcción de estas obras y cuál ha sido su comportamiento a lo largo de los años, a medida que aumenta la contaminación y la presión sobre el recurso. Es importante hacer muestreos de peces, moluscos, crustáceos y macroinvertebrados bentónicos y demás especies indicadoras de calidad de agua a nivel de bentos, neuston y de la superficie en general. La ventaja de los bioindicadores es que son de carácter “crónico”; es decir, habitan allí de manera permanente y, por lo tanto, revelan las condiciones predominantes de su entorno. Este índice debe señalar

el deterioro de la biodiversidad en general frente a la presión creciente de la demanda socioeconómica en la cuenca. Es necesario preguntar a los habitantes tradicionales, especialmente a los de la tercera edad, para establecer la línea de base histórica.

Además de los posibles indicadores mencionados en el Cuadro 2, también se puede incorporar como factor ponderador, la calificación creada por el INE (Instituto Nacional de Ecología) en la encuesta de disposición a entregar agua (450 encuestas a productores de la cuenca evaluada). Esa calificación revela una actitud acerca de la sostenibilidad del recurso basada en la percepción de los pobladores y en información creciente acerca del estado y presión sobre el recurso mismo. De manera especial se señala la necesidad de incluir un factor ponderador relacionado con el cambio climático, puesto que el aumento de temperatura promedio ya se ha confirmado con toda la validez científica y tendrá consecuencias gigantescas, tanto en la demanda de agua en todos los sectores (doméstico, industrial y agropecuario) como en la oferta superficial y subterránea, ya que el calor promedio y la evapotranspiración serán mayores

Aplicación inicial del ISAAC en la cuenca Lerma-Chapala

Se hizo un primer ejercicio de generación del ISAAC en la cuenca Lerma-Chapala, México, para lo cual

Cuadro 2. Indicadores propuestos para los índices que conforman el ISAfea

ISAFEa	Indicador de estado	Indicador de presión	Indicador de respuesta	Valor aceptable
IKECO	Escorrentamiento remanente de la corriente superficial / caudal realmente usado	Crecimiento poblacional a nivel nacional / crecimiento poblacional en la zona en los últimos cinco años	Caudal legalmente asignado / caudal realmente usado	≥ 3/3
ISOTA	Área protegida en buen estado / área protegida formalmente establecida) x (área protegida formalmente establecida / área protegida recomendada)	Crecimiento área agrícola a nivel nacional / crecimiento de área agrícola en la zona en los últimos cinco años	Hectáreas adquiridas o bajo programas de recuperación, rehabilitación / número total de hectáreas identificadas como necesarias	≥ 3/3
IBEE	Número de especies de la corriente y cuerpos de agua de la zona / número de especies histórica o esperada por los científicos	Nivel ideal de bioindicadores (1) / nivel contaminación por bioindicadores (1 - 5)	Número de empresas y municipios que cumplen la norma / número total de empresas y municipios	≥ 3/3

se dividió la cuenca en tres zonas: alta, media y baja, con el fin de comparar el valor promedio del índice en cada una de las zonas y en la cuenca como un todo. Se usaron los valores de los parámetros disponibles. Los resultados del ejercicio se detallan en el Cuadro 3.

Como se evidencia en el cuadro anterior, la zona alta de la cuenca presenta un índice ISAAC levemente superior a las zonas media y baja (0,49 frente a 0,38 y 0,27). Sin embargo, es un valor relativamente bajo pues una cuenca debería estar alrededor de 1.0 para ser considerada en buen estado ambiental.

Como sistema de información, el índice parece funcionar bastante bien aunque se requiere un trabajo permanente de mejoramiento, tanto en la calidad de las fuentes como en los ajustes a cada uno de los indicadores. El ISAAC es un índice complejo que emplea múltiples indicadores e índices y que permite construirse parcialmente, cuando la disponibilidad de información es limitada. El índice se puede enriquecer con métodos de construcción participativa, por medio de talleres de consulta y de calificación de algunos indicadores.

Bibliografía consultada

- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network). 2003. Population, landscape and climate estimates. Available at <http://sedac.ciesin.columbia.edu/plue/nagd/place.html>
- ESL (European Statistical Laboratory). 2004. Dashboard of sustainability. Available at <http://esl.jrc.it/envind/dashbrds.htm>
- Esty, DC; Porter, ME. 2005. National environmental performance: an empirical analysis of policy results and determinants. *Journal of Environmental* 10:4: 391-434
- Fonseca, C. 2006-2007. Environmental evaluation of watersheds; design of an evaluation tool and application to the Lerma-Chapala Watershed. Final consultancy reports to the National Water Commission of Mexico. Mexico City, Mexico, World Meteorological Organization.
- Grossman, GM; Krueger, AB. 1995. Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics* CX(2): 353-377.
- IISD (International Institute for Sustainable Development). 2004. Compendium of sustainable development indicators. Winnipeg, Canada.
- IUCN (International Union for Nature Conservancy). 2001. Wellbeing of nations. Available at http://www.iucn.org/info_and_news/press/wbon.html
- Levy, MA; Meier, P. 2004. Early warning and assessment of environment, conflict, and cooperation. New York, USA, United Nations Environment Program and Woodrow Wilson Center.
- Parris, TM; Kates, RW. 2003. Characterizing and measuring sustainable development. *Annual Review Environmental Resources* 28(13): 1-28.
- Porter, ME. 1991. America's green strategy. *Scientific American* 264(4): 96.
- Yale Center for Environmental Law & Policy. 2001. Environmental sustainability index 2001. New Haven, Conn., Yale University.
- Yale Center for Environmental Law & Policy. 2002. Environmental sustainability index 2002. New Haven, Conn., Yale University.

Cuadro 3. Aplicación inicial del ISAAC a la cuenca Lerma-Chapala, México durante el periodo aplicación inicial del ISAAC a la cuenca Lerma-Chapala

Indicador	Estado	Presión	Respuesta	Total
Zona alta				
ISAsup				
IQAsup	0,14	0,20	0,72	0,20
IKAsup	0,13	0,70	0,84	0,74
Subtotal				
ISAsupt				
IQAsubt	1,0	1,12	1,02	1,14
IKAsubt	1,6	0,88	2,65	3,78
Subtotal				
ISAFEa				0,18
IKECO		0,35		
ISOTA			0,70	
IBEE	0,29			
Total	0,64	0,65	1,18	0,49
Zona media				
ISAsup				
IQAsup	0,49	0,26	1,25	0,16
IKAsup	0,87	0,57	0,94	0,47
Subtotal				
ISAsupt				
IQAsubt	0,80	0,98	1,10	0,87
IKAsubt	0,62	0,71	0,95	0,41
Subtotal				
ISAFEa				
IKECO		0,54		0,14
ISOTA			0,57	
IBEE	0,47			
Total	0,65	0,61	0,96	0,38
Zona baja				
ISAsup				
IQAsup	0,47	0,51	1,24	0,29
IKAsup	0,98	0,50	1,44	0,71
Subtotal				
ISAsupt				
IQAsubt	1,00	0,81	1,00	0,81
IKAsubt	1,32	0,73	0,95	0,91
Subtotal				
ISAFEa				-0,17
IKECO	-0,95	-0,95		
ISOTA			0,50	
IBEE	0,38			
Total	0,83	0,32	1,03	0,27



Universidad
Tecnológica
de Pereira

www.utp.edu.co

PREGRADO

• Medicina	A
• Ciencias del Deporte y la Recreación	A
• Administración del Medio Ambiente	A
• Química Industrial	RC
• Administración Industrial	RC
• Medicina Veterinaria y Zootecnia	RC
• Fisioterapia y Kinesioterapia	RC

INGENIERÍAS

• Eléctrica	A
• Mecánica	A
• Industrial	A
• De Sistemas y Computación	RC
• Física	RC

TECNOLOGÍAS

• Eléctrica	RC
• Mecánica	A
• Industrial	RC
• Química	A
• Electrónica	RC

LICENCIATURAS

• Matemáticas y Física	RC
• Artes Visuales	RC
• Música	RC
• Etnoeducación y Desarrollo Comunitario	RC
• Pedagogía Infantil	RC
• Español y Literatura	RC
• Filosofía	RC
• Comunicación e Informática Educativa	RC
• Enseñanza de la Lengua Inglesa	RC

PROGRAMAS EN JORNADA ESPECIAL (Nocturnos y fines de semana)

• Administración del Turismo Sostenible	RC
---	----

INGENIERÍAS

• Industrial	A
• De Sistemas y Computación	RC
• Electrónica	RC
• Mecatrónica	RC

TECNOLOGÍAS

• Mecatrónica	RC
• Atención Prehospitalaria	RC
• Gestión del Turismo Sostenible	RC
• Procesos Agroindustriales	RC

TÉCNICO(A) PROFESIONAL

• Mecatrónica	RC
• Procesos del Turismo Sostenible	RC
• Procesos Agroindustriales	RC

PROGRAMAS EN EXTENSIÓN

• Ciencias del Deporte y la Recreación (Extensión San Andrés Islas)	RC
• Ingeniería Industrial (Extensión San Andrés Islas)	RC
• Licenciatura en Pedagogía Infantil (Extensión San Andrés Islas)	RC

PROGRAMAS EN CERES –CENTROS REGIONALES DE EDUCACIÓN SUPERIOR-

TECNOLOGÍAS

• Industrial (CERES de Santuario-Risaralda)	RC
• Industrial (CERES de Mistrató-Risaralda)	RC
• Industrial (CERES de Pueblo Rico-Risaralda)	RC
• Industrial (CERES de Quinchía-Risaralda)	RC
• Industrial (CERES de Puerto Carreño-Vichada)	RC

INGENIERÍA

• Mecatrónica (CERES de Puerto Carreño-Vichada)	RC
---	----

LICENCIATURAS

• Etnoeducación y Desarrollo Comunitario (CERES de Mistrató-Risaralda)	RC
• Etnoeducación y Desarrollo Comunitario (CERES de Santuario-Risaralda)	RC
• Etnoeducación y Desarrollo Comunitario (CERES de Pueblo Rico-Risaralda)	RC
• Etnoeducación y Desarrollo Comunitario (CERES de Quinchía-Risaralda)	RC
• Etnoeducación y Desarrollo Comunitario (CERES de Puerto Carreño-Vichada)	RC
• Pedagogía Infantil (CERES de Quinchía-Risaralda)	RC
• Pedagogía Infantil (CERES de Mistrató-Risaralda)	RC



Centro de Recurso
Informativo y Documental
Servicio de
información y
documentación

Universidad Tecnológica de Pereira
Sector La Julita A.A.097 Tel. Conm.3137300

Acreditada Institucionalmente de Alta Calidad
por el Ministerio de Educación Nacional

ISO 9001:2008
BUREAU VERITAS
Certification

11 00217442





Universidad
Tecnológica
de Pereira

www.utp.edu.co



POSGRADOS ESPECIALIZACIONES

• Gerencia en Sistemas de Salud	RC
• Gerencia de Prevención y Atención de Desastres	RC
• Biología Molecular y Biotecnología	RC
• Docencia Universitaria	RC
• Gestión Ambiental Local	RC
• Gestión de la Calidad y Normalización Técnica	RC
• Intervención Integral en Discapacidad Motriz	RC
• Gestión de la Innovación	RC
• Sistemas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica	RC
• Enseñanza de las Ciencias Sociales	RC
• Tecnología en Mecánica Automotriz	RC
• Bioética	RC
• Logística Empresarial	RC
• Electrónica Digital	RC
• Didáctica de la Lengua Materna	RC

ESPECIALIZACIONES MÉDICO QUIRÚRGICAS

• Medicina Crítica y Cuidado Intensivo	RC
• Medicina Interna	RC
• Psiquiatría	RC

ESPECIALIZACIONES EN CONVENIO

• Gestión Ambiental Local (Extensión Pasto - Nariño, convenio con la Universidad Mariana de San Juan de Pasto)	RC
• Gestión de la Calidad y Normalización Técnica (Extensión Armenia - Quindío, en convenio con la Univ. Gran Colombia)	RC
• Gestión de la Calidad y Normalización Técnica (Extensión Montería - Córdoba, en convenio con la Universidad de Córdoba)	RC
• Enseñanza de las Ciencias Sociales (CERES de Mistrató-Risaralda)	RC

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN RECONOCIDOS POR COLCIENCIAS

RESUMEN GRUPOS RECONOCIDOS POR COLCIENCIAS	Resultado
A1	2
A	6
B	15
C	25
D	50
	78

MAESTRÍAS

• Administración Económica y Financiera	RC
• Investigación Operativa y Estadística	RC
• Sistemas Automáticos de Producción	RC
• Comunicación Educativa	RC
• Ingeniería Eléctrica	RC
• Enseñanza de la Matemática	RC
• Literatura	RC
• Instrumentación Física	RC
• Biología Molecular y Biotecnología	RC
• Ecotecnología	RC
• Administración del Desarrollo Humano y Organizacional	RC
• Lingüística	RC
• Educación	RC
• Sistemas Integrados de Gestión de la Calidad	RC
• Maestría en Estética y Creación	RC
• Ingeniería Mecánica	RC
• Ingeniería de Sistemas y Computación	RC

MAESTRÍAS EN CONVENIO

• Biología Vegetal (Convenio entre las Universidades de Caldas, Quindío y Tecnológica de Pereira).	RC
• Administración Económica y Financiera (Extensión Tunja-Boyacá, en convenio con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia)	RC
• Comunicación Educativa (Extensión Medellín - Antioquia, en convenio Univ. de Medellín)	RC
• Literatura (Extensión Ibagué- Tolima, en convenio con la Universidad del Tolima)	RC

DOCTORADOS

• En Ciencias de la Educación, Área Pensamiento Educativo y Comunicación (RUDECOLOMBIA: Convenio entre las Universidades del Atlántico, Cartagena, Cauca, Magdalena, Nariño, Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Quindío, Tolima y Tecnológica de Pereira).	RC
• En Ciencias Ambientales (Convenio entre las Universidades de Valle, Cauca y Tecnológica de Pereira)	RC
• En Ciencias Biomédicas (Convenio entre las Universidades de Quindío, Caldas, Tolima y Tecnológica de Pereira)	RC

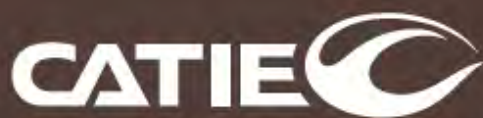
A:ACREDITADO:Reconocimiento de Alta Calidad, otorgado por el Ministerio de Educación Nacional.

RC:REGISTRO CALIFICADO:Cumplimiento de los Estándares de Calidad, otorgado por el Ministerio de Educación Nacional.

Universidad Tecnológica de Pereira
Sector La Julita A.A.097 Tel. Conm.3137300
Acreditada Institucionalmente de Alta Calidad
por el Ministerio de Educación Nacional



CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) 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 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, Venezuela y España.



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Sede Central 7170 CATIE, Turrialba, Costa Rica
Tel. (506) 2558-2312 • Fax: (506) 2558-2051

www.catie.ac.cr

